Л. П. АПОЛЛОНОВА, Н Д. ШУМОВА

ГРАМЗАПИСЬ И ЕЕ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ



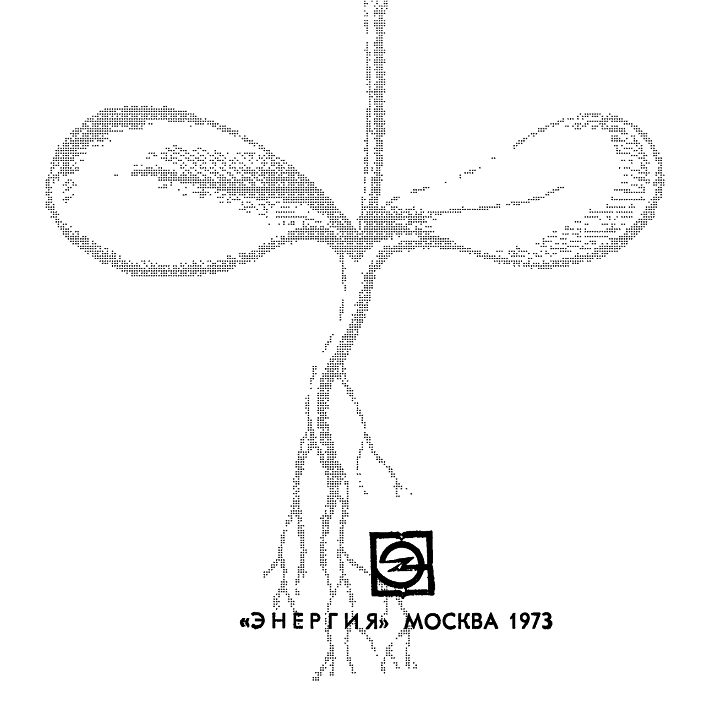


МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 838

Л. П. АПОЛЛОНОВА, Н. Д. ШУМОВА

ГРАМЗАПИСЬ
И ЕЕ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ



«ЭНЕРГИЯ» МОСКВА 1973

6Ф2.9
А 76
УДК 534.851

Аполлонова Л. П. и Шумова Н. Д.

А 76 Грамзапись и ее воспроизведение. М., «Энергия», 1973.

72 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 838)

Книга знакомит с принципом грамзаписи, основными этапами и перспективами ее развития. Рассматриваются устройства и работа аппаратуры для воспроизведения грамзаписи и методы ее контроля

Книга может быть полезной любителям грамзаписи и лицам, занимающимся конструированием воспроизводящих аппаратов.

А $\frac{0345\text{-}364}{051(01)\text{-}73}$ 268-73 6Ф2.9

Любовь Павловна Аполлонова

Нина Дмитриевна Шумова

ГРАМЗАПИСЬ И ЕЕ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ

Редактор В. Г. Корольков

Редактор издательства В. А. Абрамов

Художественный редактор Д. И. Чернышев

Технический редактор О. Д. Кузнецова

Корректор Н. В. Лобанова

Сдано в набор 16 /II 1973 г. Подписано к печати 1 / X 1973 г. Т 13987
Формат 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 2 Усл. печ. л. 3,78
Уч.-изд. л. 5,18 Тираж 50 000 экз. Зак. 145 Цена 22 коп.

Издательство «Энергия». 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Владимирская типография Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Грампластинка имеет самое широкое распространение среди населения и это неудивительно, так как аппаратура для ее воспроизведения и пластинка удобны и просты в эксплуатации, а качество звучания не уступает получаемому с бытовых магнитофонов. Наблюдаемый систематический прогресс в области грамзаписи (появление долгоиграющих пластинок, а затем стереофонических) вызвал большой интерес населения к новому виду пластинок Многие любители грамзаписи занимаются конструированием проигрывателей и электрофонов. Книга поможет им правильно разобраться в построении отдельных узлов, в их сочетании, а также в наладке аппаратов воспроизведения с помощью измерительных пластинок, выпускаемых для населения. Кроме того, книга в популярном изложении дает представление о современном состоянии техники механической записи и о перспективах ее развития.

Авторы

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГРАМЗАПИСИ

Механическая запись звука для граммофонных пластинок (грамзапись[1]) представляет собой процесс, при котором на вращающемся носителе записи, имеющем форму диска, резцом рекордера вырезается соответствующей формы канавка.

При записи диск вращается с постоянной частотой вращения, а рекордер перемещается вдоль радиуса диска от края к центру.

При отсутствии сигнала на рекордере резец не колеблется и поэтому вырезает спиральную канавку, без извилин. Такая канавка называется немой. Она соответствует паузам, кроме того, ею обычно начинается и заканчивается любая запись. От электрического сигнала, поданного на рекордер, резец приходит в колебание и вырезает извилистую канавку, которая называется модулированной.

На рис. 1, *а* изображены немые канавки. В поперечном разрезе канавки имеют ширину a, глубину h, угол раскрытия γ и радиус закругления дна ρ. Промежуток b между двумя соседними канавками называется полем, а расстояние τ — шагом записи.

Вид модулированных канавок определяется направлением колебаний резца, которые могут быть поперечными — вдоль радиуса диска, глубинными — перпендикулярно поверхности диска и комбинированными, т. е. поперечно-глубинными. Модулированные канавки показаны на рис. 1, *б*, *в*.

При воспроизведении записанный диск или полученная с него граммофонная пластинка вращается с той же частотой, как и диск при записи, что необходимо для сохранения правильной тональности звука. Зафиксированная в виде канавки звуковая информация при этом «прочитывается» звукоснимателем, игла которого ведется обеими стенками канавки, сообщающими ей вынужденные механические колебания. Эти колебания преобразовываются головкой звукоснимателя в электрические сигналы и после усиления подаются на один или несколько громкоговорителей.

Область применения. Механическая запись на диск, появившаяся в конце XIX в., долгое время являлась основным видом звукозаписи, завоевавшим прочное место благодаря возможности сравнительно просто тиражировать запись в виде граммофонных пластинок. Простота эксплуатации пластинок и простота аппаратов для их проигрывания также содействовали широкому распространению пластинок

---

[1] Термин «грамзапись» укоренился и хорошо известен, но, строго говоря, неправилен, так как в дословном переводе означает «запись записи» («граммо» — греч. — запись, писать).

среди населения. Пластинка нашла применение и в радиовещании, но впоследствии, с развитием магнитной записи, предпочтение здесь получила фонограмма на магнитной ленте.

В наши дни магнитная звукозапись широко используется в быту. Тем не менее ведущее положение остается за грампластинкой, которая не только проще в эксплуатации, но и дешевле магнитной ленты.

Репертуар пластинок разнообразен. в основном это музыкальные и литературные записи, выпускаются также пластинки — учебные пособия, например, по изучению иностранных языков и др.

Красивое оформление пластинок в художественных конвертах и альбомах также привлекает потребителя.

Основные этапы развития грамзаписи. Идея механической записи звука и ее последующего воспроизведения принадлежит Шарлю Кро, описавшему свое изобретение в 1877 г.

Появлению граммофонной пластинки предшествовал фонограф, изобретенный Эдисоном в 1877 г. и демонстрировавшийся в России впервые в 1879 г. Носитель записи в виде валика, который использовался в фонографе. оказался неподходящим для тиражирования. Вопрос тиражирования был разрешен с носителем записи в форме диска, когда в 1888 г. Берлинером была отштампована металлической матрицей первая целлулоидная граммофонная пластинка. Берлинером же в 1888 г. был создан первый аппарат для воспроизведения записи с пластинок — прототип рупорного граммофона, а позднее в 1896 г., Берлинер предложил шеллачную пластинку и способ ее тиражирования.

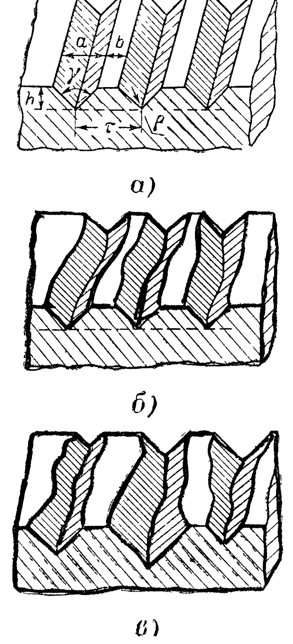


Рис. 1. Канавки механической записи.

а — немые; б — модулированные при поперечной записи; в — модулированные при поперечно-глубинной (стереофонической) записи.

В России пластинки начали выпускаться в 1907 г., при этом их прессование производилось ввозимыми из-за границы матрицами. В 1910 г. запись для грампластинок и весь технологический процесс вплоть до изготовления матриц, были организованы в Москве, а прессование пластинок — на Апрелевском заводе и несколько позднее на Рижском заводе грампластинок.

До 1924 г. запись для пластинок производилась акустическим способом, т. е. звук через рупор подавался на мембрану, связанную с резцом, вырезавшим канавку в восковом вращающемся диске. Из различных вариантов записи всеобщее признание получила поперечная запись при частоте вращения 78 об/мин для пластинок диаметром 30 и 25 см. При удобном размере на каждой стороне такой пластинки умещалась программа звучанием до 5 и 3 мин соответственно.

Некоторое время выпускались пластинки и с глубинной записью, но из-за технологических трудностей и значительных искажений при воспроизведении их производство было прекращено.

Качество записей, выполненных акустическим способом, было низким, с ограниченным частотным диапазоном (150—4 000 Гц) и подчеркиванием ряда частот из-за неустранимых резонансов в записывающем аппарате.

Введение электрического способа записи позволило расширить частотный диапазон не менее чем до 50—10 000 Гц, придать плавность частотной характеристике записывающего аппарата и, следовательно, значительно улучшить качество записи.

Первоначально, при электрическом способе грамзаписи, звуковые колебания воспринимались микрофоном, преобразовывались им в электрические сигналы, которые после усиления и некоторой корректировки подавались на рекордер.

С развитием магнитной записи было введено существенное изменение в технологию грамзаписи. Вместо «живой» записи с микрофона механическая запись стала вестись путем перезаписи с предварительно подготовленной магнитной фонограммы. Благодаря легкому монтажу магнитной ленты устранилась вероятность порчи записываемого диска из-за неизбежных ошибок исполнителей и оказалось возможным записывать программы большой длительности. Таким образом, магнитная запись звука способствовала появлению долгоиграющих пластинок, промышленный выпуск которых в Советском Союзе начался с 1951 г.

Долгоиграющие пластинки имеют диаметры 30, 25 и 17,5 см при частоте вращения $33^1/_3$ об/мин, каждая сторона таких пластинок может вместить программу длительностью 27, 18 и 9 мин соответственно. Общепринятыми являются пластинки диаметром 30 и 17,5 см; пластинки диаметром 25 см многие фирмы перестали выпускать. Пластинки диаметром 17,5 см, кроме того, выпускаются на частоту вращения 45 об/мин; каждая сторона такой пластинки, как правило, содержит одно произведение, что позволяет потребителю приобретать их в большем соответствии со своим вкусом.

Увеличенная длительность звучания долгоиграющих пластинок получена не только благодаря уменьшению частоты вращения по сравнению с 78 об/мин, но и благодаря переходу на меньший шаг записи, который оказался возможным, так как канавки долгоиграющих пластинок в 2,5—3 раза уже, чем у пластинок на 78 об/мин, и, следовательно, могли быть расположены ближе друг к другу.

Для увеличения динамического диапазона звучания в области низких частот запись для долгоиграющих пластинок стала производиться с переменным шагом, управляемым амплитудой записываемого сигнала. Это также способствовало эффективному использованию носителя записи и увеличило длительность звучания пластинок. Переход на более узкие канавки привел, естественно, к уменьшению полезного сигнала при воспроизведении грамзаписи. Однако отношение сигнала к шуму в долгоиграющих пластинках удалось даже повысить по сравнению с пластинками на 78 об/мин, благодаря тому что в них для прессования стала использоваться малошумная винилитовая масса.

До 1958 г. выпускались только монофонические пластинки, затем появились и стереофонические пластинки, выпуск которых с каждым годом увеличивается. Одновременно стала выпускаться

стереофоническая воспроизводящая аппаратура, пригодная для обоих видов пластинок.

Монофоническая и стереофоническая грамзапись. Монофонические и стереофонические пластинки различаются способом записи информации в канавке, вследствие чего восприятие звучания в том и другом случаях имеет характерные особенности.

При воспроизведении записи монофонической пластинки звучание кажется как бы исходящим из одной точки пространства, поэтому нельзя составить себе представление о расстановке инструментов в оркестре, расположении исполнителей на сцене, о глубине и ширине сцены и т. п. — все источники звучания кажутся совмещенными.

При прослушивании стереофонической пластинки создается впечатление объемного звучания: слушатель различает местоположение источников звучания и распознает их перемещение.

Это существенное различие между монофоническим и стереофоническим звучанием обусловлено тем, что в первом случае звук передается одним громкоговорителем или группой громкоговорителей, которые питаются от одного общего электрического канала — следовательно, получают одинаковую информацию.

Для стереофонии характерно наличие нескольких раздельных электрических каналов, в частности для стереопластинки принято два канала — левый и правый. Для каждого такого канала предусмотрен свой громкоговоритель или группа громкоговорителей. Передаваемый ими звук кажется объемным благодаря тому, что левый и правый громкоговорители получают различающиеся между собой информации. Различие информаций вводится с самого начала при записи с микрофона на магнитную ленту: в каждой точке звукового поля звучание имеет свои особенности, поэтому микрофоны, расставленные среди исполнителей, улавливают отличные друг от друга информации, которые передаются по раздельным каналам стереомагнитофона и записываются на двух дорожках магнитной ленты. С полученной магнитной фонограммы звукорежиссер производит перезапись на диск для последующего изготовления грампластинок.

На рис. 2 представлена упрощенная структурная схема устройства для перезаписи.

Магнитофон для воспроизведения записи стереофонограммы *1* имеет две воспроизводящие головки *2* и две управляющие головки *3*. Сигналы *А* и *В* от воспроизводящих головок, соответствующих правому и левому каналам, пройдя через усилители *4*, корректоры *5* и регуляторы уровня *6*, попадают на двухканальный усилитель записи *11*.

Этот усилитель содержит в каждом канале предварительный усилитель *17*, в котором формируется характеристика записи, оконечный усилитель *18* и усилитель обратной связи *19*. К выходу оконечного усилителя присоединена обмотка возбуждения *в* стереорекордера *12*, производящего запись на лаковый диск. Напряжение обмотки обратной связи *с* стереорекордера подается через усилитель *19* на вход оконечного усилителя *18*. Записываемый сигнал можно прослушать через контрольный усилитель *20*, имеющий требуемую характеристику воспроизведения, и акустический стереоагрегат *14*.

Переключатель *13* позволяет сопоставлять сигналы с магнитной ленты и с обратной связи стереорекордера по звучанию и по уровню записи, который контролируется индикатором *15*.

Записанный лаковый диск может быть прослушан с помощью стереозвукоснимателя *16*, установленного на станке записи.

Для более полного использования поверхности диска и для лучшей записи низких частот предусмотрено автоматическое управление шагом записи и заглублением канавок в зависимости от поперечной и глубинной амплитуд записи. С этой целью управляющие головки *3* с опережением воспроизводят сигналы с магнитной фонограммы. Сиг-

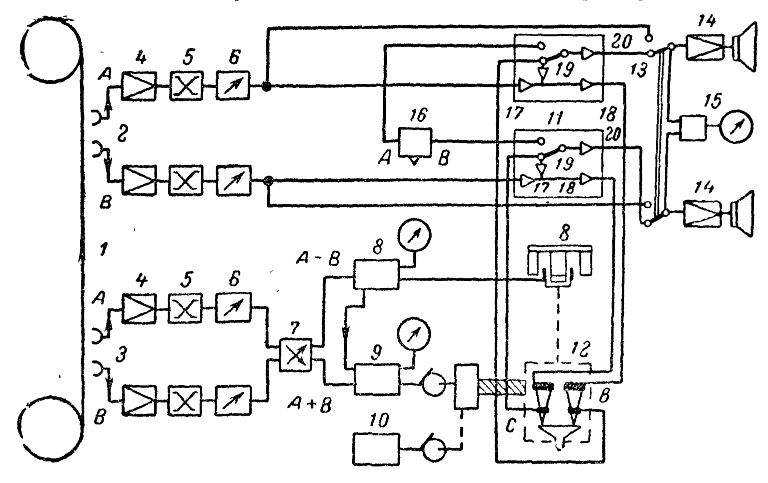


Рис. 2. Структурная схема устройства для перезаписи с магнитной фонограммы на диск.

налы *A* и *B* правого и левого каналов, пройдя звенья *4*, *5*, *6*, попадают на преобразователь *7*, формирующий сигналы суммарный *A+B* и разностный *A—B*. Сигнал *A+B* управляет перемещением рекордера, т. е. шагом записи с помощью электропривода *9*, а сигнал *A—B* управляет расположением рекордера по вертикали, т. е. заглублением канавок с помощью электропривода *8*. При нарезании служебных канавок (вводной, соединительных и выводной) перемещением рекордера управляет электропривод *10*.

При монофонической поперечной записи на диск сигналы *A* и *B* перед подачей на блоки *11* преобразовываются в два суммарных сигнала *A+B* (блок преобразования на рисунке не показан), кроме того, выключается электропривод *8*.

Рассмотрим монофонические и стереофонические канавки на примере записи синусоидальных сигналов.

На рис. 3, *а* показана канавка поперечной монофонической записи (моноканавка). Резец рекордера совершает симметричные колебания вправо и влево от нейтральной линии *00* с амплитудой *A*, в результате чего на вращающемся диске вырезается канавка, правая и левая стенки которой, а также линия дна имеют синусоидальный контур.

Стереофоническая канавка (стереоканавка) обусловлена результирующим колебанием резца рекордера под воздействием сигналов правого и левого каналов. Каждый канал в отдельности вызывает колебания резца в направлении 45° к поверхности диска и 90° друг

к другу, отчего такой способ записи получил название стереозаписи по системе 45/45.

На рис. 3,*б* показана стереоканавка при записи двух синусоидальных сигналов, отличающихся по частоте и амплитуде. Контур внешней стенки канавки, т. е. стенки, расположенной ближе к борту диска, отображает сигнал правого канала, записанный с амплитудой A_1, а контур внутренней стенки — сигнал левого канала, более высокой частоты и меньшей амплитуды A_2.

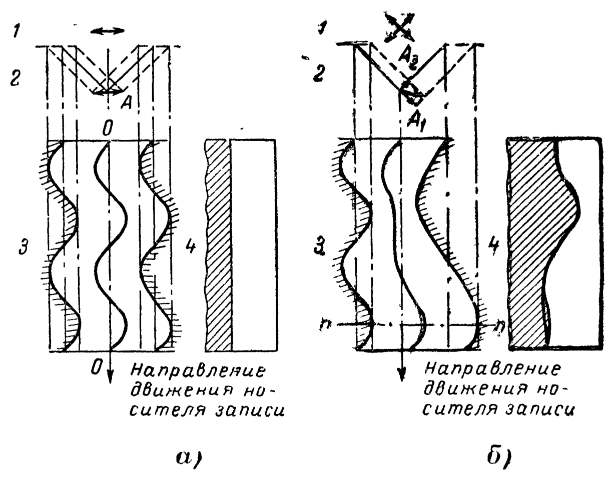


Рис. 3. Образование канавок.

1 — направление составляющих колебания резца; *2* — поперечный разрез канавки; *3* — вид канавки в плане; *4* — продольный разрез по дну канавки.

В отличие от моноканавки в стереоканавке обе стенки отличаются по контуру, ширина, а следовательно, и глубина канавки непрерывно меняются. Линия дна отличается от контуров стенок, так как определяется результирующим движением резца под действием сигналов обоих стереоканалов одновременно.

Очевидно, что стереоканавка становится моноканавкой с поперечной записью, если по обоим каналам записываются синфазные сигналы одной и той же частоты и амплитуды (рис. 4,*а*) или моноканавкой с глубинной записью — в случае противофазных сигналов (рис. 4,*б*). Кроме того, модулированной может оказаться одна стенка канавки — внешняя, если звуковая информация подается только по правому каналу (рис. 4,*в*), или внутренняя, когда информация подается только по левому каналу (рис. 4, *г*).

На рис. 5 показаны фотографии моно- и стереоканавок музыкальных грампластинок.

Частотные характеристики записи и воспроизведения. Запись на диск для производства грампластинок, а также сами пластинки и аппаратура для воспроизведения грамзаписи выполняются по стандартам (ГОСТ 7893-72, ГОСТ 8383-66), в которых учитываются уста-

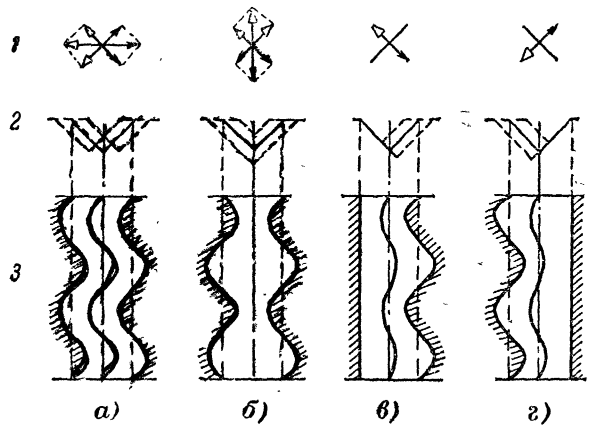


Рис. 4. Форма стереоканавки.

1 — направление составляющих колебания резца; 2 — поперечный разрез канавки; 3 — вид канавки в плане.

новленные Международной Электротехнической Комиссией (МЭК) унифицированные нормы.

Частотная характеристика канала записи на диск при частотах вращения $33^1/_3$ и 45 об/мин дана на рис. 6. Она представляет собой





Рис. 5. Канавки грампластинок (вид сверху, увеличено в 50 раз).

а — моноканавка, поперечная запись; б — стереоканавка.

выраженную в децибелах зависимость амплитуды колебательной скорости резца рекордера v от частоты сигнала f, поданного на вход канала записи. Амплитуда колебательной скорости $v=\omega A$, где $\omega=2\pi f$ — угловая частота сигнала, а A — амплитуда колебаний резца. При этом предполагается, что э. д. с. на входе неизменна во всем рас-

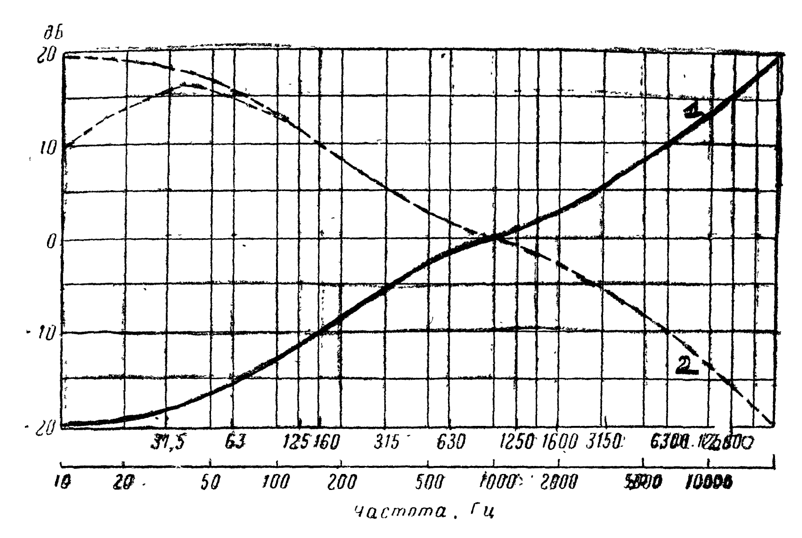


Рис. 6. Частотные характеристики для пластинок с частотой вращения $33^1/_3$ и 45 об/мин.

1 — канала записи; *2* — канала воспроизведения.

сматриваемом частотном диапазоне. За уровень 0 дБ в характеристике принят уровень на частоте 1 000 Гц. Ход частотной характеристики с плавным подъемом от низких частот к высоким выбран из расчета наибольших допустимых уровней записи, при которых игла звукоснимателя огибает модулированную канавку без потери контакта; при этом учитывается также распределение звуковой энергии музыкальных инструментов и голосов по частотному диапазону. В области низких частот уровень записи ограничивается наибольшей амплитудой смещения резца (поперечная 40 и глубинная 20 мкм). В остальном частотном диапазоне максимальный уровень задается амплитудой колебательной скорости, которая не должна превышать 14 см/с на пиках модуляции. Различие в максимальных поперечной и глубинной амплитудах смещения предусмотрено для того, чтобы дать возможность воспроизводить стереозапись монофоническим звукоснимателем (естественно без стереоэффекта). В то же время это различие не нарушает полноценного стереофонического звучания стереопластинки.

Для получения звучания, соответствующего оригиналу, неравномерность характеристики канала воспроизведения *2* должна компенсировать неравномерность характеристики канала записи *1*; поэтому обе характеристики взаимно обратны (рис. 6). Поскольку основные шумы пластинок приходятся на область высоких частот, то такая характеристика канала воспроизведения, кроме того, улучшает отношение сигнал/шум. Следует, однако, заметить, что подъем на высоких частотах при записи не совсем желателен, так как приводит к возрастанию искажений воспроизводимого сигнала из-за трудностей огибания канавки иглой. Со временем, когда отношение сиг-

нал/шум удастся увеличить, усовершенствовав технологический процесс получения пластинки, необходимость подъема при записи и завала при воспроизведении, очевидно, отпадает.

Согласно нормам МЭК и ГОСТ 7893-72 частотная характеристика канала записи задается (чисто формально) как сумма трех характеристик электрических цепей, содержащих резистор и конденсатор в определенных сочетаниях, с различными постоянными времени t_1, t_2, t_3 соответственно для высоких, средних и низких частот.

В табл. 1 указаны электрические цепи, их параметры и постоянные времени, задающие характеристику записи.

Таблица 1

Постоянная времени, с	Электрическая цепь и задающий параметр
$t_1 = 75 \cdot 10^{-6}$	C_1, R_1 Проводимость $\left\lvert \frac{1}{Z_1} \right\rvert = \sqrt{\frac{1}{R_1^2} + \omega^2 C_1^2}$
$t_2 = 318 \cdot 10^{-6}$	C_2, R_2 Проводимость $\left\lvert \frac{1}{Z_2} \right\rvert = \frac{1}{\sqrt{R_2^2 + \frac{1}{\omega^2 C_2^2}}}$
$t_3 = 3\,180 \cdot 10^{-6}$	C_3, R_3 Сопротивление $\lvert Z_3 \rvert = \sqrt{R_3^2 + \frac{1}{\omega^2 C_3^2}}$

Характеристика канала записи выражается формулой

$$N_v = 20 \lg \frac{v}{v_{1\,000}} = 20 \lg \frac{|Z_3|}{R_3} + 20 \lg \frac{R_2}{|Z_2|} + 20 \lg \frac{R_1}{|Z_1|}, \text{ дБ.}$$

Подставляя соответствующие Z, постоянные времени $t=RC$ и учитывая, что $\omega=2\pi f$, где f — частота, Гц, имеем:

$$N_v = 10\lg\left(1+4\pi^2 f^2 t_1^2\right) - 10\lg\left(1+\frac{1}{4\pi^2 f^2 t_2^2}\right) + $$
$$+ 10\lg\left(1+\frac{1}{4\pi^2 f^2 t_3^2}\right), \text{ дБ},$$

где N_v — относительный уровень колебательной скорости резца, дБ.

При стереозаписи каждый канал должен иметь такую характеристику. В табл 2, построенной аналогично табл 1, приводятся данные для частотной характеристики канала воспроизведения.

Таблица 2

Постоянная времени, с	Электрическая цепь и задающий параметр
$t_1=75\cdot10^{-6}$	C_1, R_1 Сопротивление $\lvert Z_1\rvert = \dfrac{1}{\sqrt{\dfrac{1}{R_1^2}+\omega^2 C_1^2}}$
$t_2=318\cdot10^{-6}$	C_2, R_2 Сопротивление $\lvert Z_2\rvert = \sqrt{R_2^2+\dfrac{1}{\omega^2 C_2^2}}$
$t_3=3\,180\cdot10^{-6}$	C_3, R_3 Проводимость $\left\lvert \dfrac{1}{Z_3}\right\rvert = \dfrac{1}{\sqrt{R_3^2+\dfrac{1}{\omega^2 C_3^2}}}$

Характеристика канала воспроизведения задается суммой трех кривых

$$N = 20\lg\frac{R_3}{|Z_3|} + 20\lg\frac{|Z_2|}{R_2} + 20\lg\frac{|Z_1|}{R_1}$$

или

$$N = 10\lg\left(1+\frac{1}{4\pi^2 f^2 t_2^2}\right) - 10\lg\left(1+4\pi^2 f^2 t_1^2\right) - $$
$$- 10\lg\left(1+\frac{1}{4\pi^2 f^2 t_3^2}\right),$$

где N — уровень выходного напряжения канала воспроизведения, дБ.

В табл. 3 приведены рассчитанные по этой формуле цифровые значения частотной характеристики канала воспроизведения.

Таблица 3

Частота, Гц	Относительный уровень, дБ	Частота, Гц	Относительный уровень, дБ
10	19,8(9,8)	630	1,6
20	19,3(14,2)	800	0,8
31,5	18,6(15,8)	1 000	0
40	17,8(16,2)	1 250	—0,8
50	17,0(15,7)	1 600	—1,6
63	15,8(15,0)	2 000	—2,6
80	14,5(13;9)	3 150	—5,0
100	13,1(12,7)	4 000	—6,6
125	11,6	5 000	—8,2
160	9,8	6 300	—10,0
200	8,3	8 000	—11,9
315	5,2	10 000	—13,7
400	3,8	12 500	—15,6
500	2,6	16 000	—17,7
		20 000	—19,6

Следует заметить, что поскольку в записываемых звуках практически нет колебаний с частотой ниже 20 Гц, то целесообразно в характеристике воспроизведения предусмотреть меньший подъем на низких частотах, в особенности ниже 20 Гц. Согласно дополнительным рекомендациям МЭК этот уменьшенный подъем имеет значения, приведенные в табл. 3 в скобках; на рис. 6 он показан пунктиром. Характеристика канала воспроизведения с меньшим подъемом на низких частотах выгодна тем, что она приводит к ослаблению прослушиваемых помех от вибраций движущего механизма воспроизводящих аппаратов.

ГРАММОФОННАЯ ПЛАСТИНКА

Технология изготовления пластинок. Запись, произведенную на лаковый диск, размножают в виде граммофонных пластинок. Размножение представляет собой сложный производственный процесс со следующими основными операциями: металлизацией поверхности лакового диска, снятием с него гальваническим путем металлических оригиналов и формованием печатным оригиналом — матрицей грампластинок.

С лакового диска снимают обычно один первый оригинал и с него несколько вторых, а с каждого второго оригинала снимают третьи оригиналы — матрицы, количество которых можно довести до 40 шт.

Применяются следующие способы формования пластинок: прессование, штамповка, литье под давлением.

Основной способ — прессование, так как этот способ пригоден для любых форматов пластинок и обеспечивает хорошие качественные показатели. Одной матрицей можно отпрессовать в среднем 700 пластинок диаметром 30 см и до 2 000 пластинок диаметром 17,5 см.

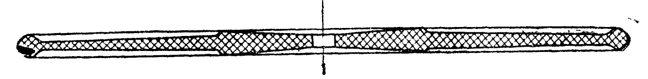


Рис. 7. Форма поперечного сечения долгоиграющих пластинок диаметром 30 и 25 см.

Пластинки прессуются из гранул пластмассы, реже — из таблеток. Гранулы изготовляются из порошкообразной смеси компонентов на экструзионных машинах. Пластмасса для пластинок представляет собой композицию из плавких компонент и красящего вещества, например сажи. К плавким компонентам относятся связующие и специальные добавки; роль связующих — сцементировать в единое целое массу, входящую в состав пластинки, а добавки вносятся для улучшения формуемости и повышения износостойкости пластинки. В качестве связующего используют синтетическую смолу винилит, представляющую собой сополимер винилхлорида с винилацетатом.

Современные пластинки небьющиеся, что является одним из несомненных их преимуществ по сравнению с прежними бьющимися пластинками из масс с твердым наполнителем; применение наполнителя было необходимо для повышения твердости пластинок, которые в то время проигрывались тяжелыми звукоснимателями и граммофонными мембранами.

Форма поперечного сечения пластинок диаметром 30 и 25 см изображена на рис. 7. Зона записи утоплена относительно борта и центральной части, занятой этикеткой, благодаря этому она защищена от возможных повреждений. Кроме того, при утолщенных борте и центральной части пластинка меньше подвержена короблению. В пластинках диаметром 17,5 см утолщена только зона этикетки. Пластинки такого диаметра изготовляются не только способом прессования, но и штамповкой из поливинилхлоридной пленки толщиной 120—200 мкм. Благодаря своей гибкости такие пластинки используются также в качестве «звуковых страниц» в журналах[1]. Тираж-

[1] У нас в стране — журнал «Кругозор».

ность матрицы, т. е. возможное количество отформованных ею годных пластинок, значительно выше, чем при прессовании, и составляет в среднем 5 000 пластинок.

Литье под давлением применяется ограниченно и преимущественно для пластинок диаметром 17,5 см. При этом способе может быть достигнута еще бóльшая тиражность матриц, чем при штамповке.

Из всех способов формования пластинок лучшим по качественным показателям является прессование.

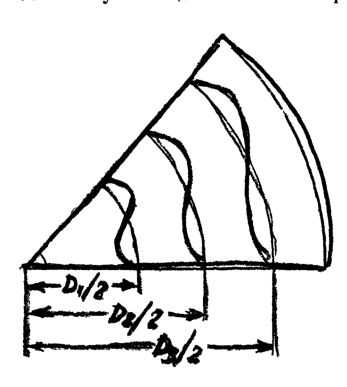


Рис. 8. Изменение сжатости записи в зависимости от диаметра канавки.

Виды и размеры канавок на пластинке. В направлении от борта к центру расположен ряд канавок, представляющих собой непрерывную спираль: *вводная канавка*, на которую устанавливают иглу звукоснимателя в начале проигрывания, переходит в канавки зоны записи. Начинается зона записи одной-двумя немыми канавками, за которыми следуют модулированные; эти канавки завершаются также одной-двумя немыми канавками, переходящими в свою очередь в *выводную канавку*, которая заканчивается *концентрической замкнутой канавкой*.

Если на одной стороне пластинки имеется несколько записей, то они разделяются друг от друга промежутком, по которому проходит немая канавка, называемая *соединительной*.

Поскольку частота вращения диска при записи постоянна, запись от края к центру пластинки непрерывно сжимается. Это видно на рис. 8, где показаны канавки записи одного и того же сигнала, полученные на разных диаметрах пластинки.

Линейная скорость пластинки

$$V_{лин} = \frac{\pi D u}{60}, \text{ см/с},$$

где D — диаметр канавки, см; u — частота вращения пластинки, об/мин.

Формула показывает, что с уменьшением диаметра D пропорционально снижается линейная скорость $V_{лин}$, поэтому модуляция становится более сжатой, а следовательно, возрастают крутизна канавки и кривизна на гребнях. Очевидно, что для полного огибания воспроизводящей иглой модулированной канавки сжатие должно быть ограничено. Из этих соображений установлены минимальные диаметры канавок зоны записи, приведенные в табл. 4, и максимально допустимые амплитуды колебательной скорости — 14 см/с для монофонической поперечной записи и 10 см/с для каждого канала стереозаписи.

Качественные показатели пластинки. К пластинке предъявляют требования, относящиеся к ее внешнему виду, размерам и эксплуатационным показателям.

Не допускаются видовые дефекты, отражающиеся на звучании.

Таблица 4

Номинальный диаметр, мм			300	250	175
Номинальная частота вращения, об/мин			33 1/3	33 1/3	33 1/3 и 45,11
Вводная канавка	Ширина, мкм		50—70	50—70	50—70
	Шаг записи, мм		0,8—1,6	0,8—1,6	0,8—1,6
Канавки зоны записи	Диаметр начала, не более, мм		288	238	168
	Диаметр конца, не менее, мм		120	120	106
	Ширина канавок, мкм	Стерео	35—120	35—120	35—120
		Моно	50—70	50—70	50—70
	Шаг записи[1]		Переменный[2]	Переменный[2]	Переменный[2]

[1] Гибкая пластинка диаметром 175 мм имеет постоянный шаг записи, выбираемый, в пределах 135—250 мкм.
[2] Средняя величина 100 мкм.

Продолжение табл. 4

Номинальный диаметр, мм		300	250	175
Выводная канавка	Ширина, мкм	60—80	60—80	60—80
	Шаг записи, мм	3,5—9,5	3,5—9,5	3,5—9,5
Концентрическая замкнутая канавка	Диаметр, мм	107	107	98
	Ширина, мкм	60—100	60—100	50—100
Угол раскрытия канавки, град		90	90	90
Соединительная канавка	Диаметр, не менее, мм	127	127	127
	Ширина, мкм	50—70	50—70	50—70
	Шаг записи, мм	0,8—1,6	0,8—1,6	0,8—1,6

В то же время пластинки с дефектами, не влияющими на звучание и не портящими товарного вида, признаются годными; допустимые дефекты определяются сравнением с утвержденными пластинками — эталонами.

Ограничивается величина эксцентриситета пластинки, т. е. смещение центрового отверстия относительно центра записи, которое может произойти при зарядке матрицы в прессформу. При эксцентриситете не более 0,2 мм обусловленное им периодическое изменение тональности за каждый оборот проигрываемой пластинки (детонация звука) на слух практически не ощущается.

Из тех же соображений ограничивают коробление пластинки, которое помимо появления детонации приводит к повышению износа пластинки.

Задана норма на уровень собственного шума пластинки, представляющего собой неприятную помеху при воспроизведении; он обусловлен состоянием матрицы, качеством пластиночной массы и режимом прессования. Уровень шума оценивается в децибелах по отношению выходных напряжений $U_ш$ и U_{1000}, измеряемых стандартизованным измерителем уровня соответственно при проигрывании немой неигранной канавки и модулированной канавки с записью сигнала 1 000 Гц с максимально допустимым уровнем:

$$D_ш = 20 \lg \frac{U_ш}{U_{1\,000}}, \text{ дБ}.$$

Эта величина для начальных немых канавок пластинок диаметром 30 см должна быть по крайней мере минус 51 дБ; по мере приближения иглы к центру пластинки уровень шума снижается ввиду уменьшения линейной скорости канавки.

Обратная величина уровня шума дает представление о динамическом диапазоне звучания для пластинки. Однако в действительности этот диапазон меньше, так как он характеризуется отношением максимального уровня записи к минимальному, а для восприятия слухом слабого сигнала необходимо, чтобы последний перекрывал шум по крайней мере на 10—15 дБ. Поэтому динамический диапазон грамзаписи оценивается, примерно, в 35 дБ. Заметим, что для симфонического оркестра в зале он составляет 65—75 дБ.

Существенным показателем пластинки является и ее износостойкость. Этот показатель определяется возрастанием шума немых канавок от многократного проигрывания. Допускается увеличение шума не более чем на 2 дБ после 50 проигрываний.

Кроме того, пластинки должны удовлетворять климатическим требованиям, что проверяется оценкой внешнего вида и эксплуатационных показателей пластинок после их пребывания в термостате и в камере влажности.

К последним достижениям в области производства прессованных грампластинок следует отнести появление пластинок нового профиля. Такие пластинки были впервые выпущены в 1970 г. американской фирмой RCA. Они отличаются уменьшенной толщиной зоны записи и менее резким изменением толщины борта на участке, прилегающем к зоне записи. Масса пластинки диаметром 30 см равна примерно 90 г. Такая пластинка помимо очевидной экономии в расходе винилита имеет другие существенные преимущества. Постепенное изменение толщины борта обеспечивает плавный ввод иглы с вводной канавки на начальные немые канавки зоны записи и уменьшает тем самым помеху, прослушиваемую перед началом воспроизведения.

Значительным преимуществом при прессовании таких пластинок является более интенсивное и однородное перемешивание массы при ее растекании по матрице: здесь происходит турбулентное течение массы, а не ламинарное, наблюдаемое при прессовании обычных, более толстых пластинок. При турбулентном течении слои массы хорошо перемешиваются между собой, так как ее частицы движутся неупорядоченно, по сложным траекториям. При ламинарном течении частицы массы перемещаются слоями в одном направлении и поэтому полного перемешивания не происходит. Вследствие турбулентного течения исключается образование на поверхности пластинки воздушных пузырьков, создающих потрескивания при воспроизведении.

У нас в стране Апрелевским заводом грампластинок в 1971 г. разработана и изготовлена прессформа для тонких пластинок и получена первая серия пластинок массой в пределах 100—110 г.

Хранение пластинок. В надлежащих условиях пластинка может оставаться полноценной в течение десятков лет. К сожалению, условиям хранения пластинки и обращению с ней не всегда придается должное значение, отчего резко сокращается срок ее службы.

Пластинки рекомендуется хранить в конвертах в вертикальном положении. Желательно предусмотреть для этого отсеки, каждый не более чем на 20 пластинок одинакового формата. При частичном заполнении отсека следует вставлять «эквиваленты» во избежание наклонного положения пластинок, при котором они могут покоробиться.

Можно хранить пластинки и в горизонтальном положении, в конвертах, стопкой не более 10 шт. одного формата.

Пластинки должны быть расположены не ближе 1 м от нагревательных приборов и защищены от солнечных лучей.

Не следует забывать, что основными врагами пластинки являются царапины и пыль. Достаточно указать, что амплитуды записи на высоких частотах равны десятым долям микрона, т. е. меньше пылинок, находящихся в воздухе. Поэтому пылинки, осевшие в канавку, дают потрескивания и щелчки, которые могут оказаться громче записанного сигнала: царапина, пересекающая канавки, проявляется как периодические щелчки — по одному за каждый оборот пластинки. Поэтому пластинку следует хранить во внутреннем полиэтиленовом конверте и перед самым проигрыванием протирать мягкой тканью, пропитанной антистатической жидкостью например ОП-7, которая имеется в продаже; пропитанную ткань следует перед протиранием хорошо отжать. Такая обработка снимает с пластинки статический заряд и устраняет притяжение пыли. Некоторые зарубежные фирмы выпускают пластинки из массы, содержащей антистатическую добавку, благодаря чему такие пластинки не притягивают к себе пыль и не требуют очистки.

АППАРАТУРА ДЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ГРАМЗАПИСИ

Виды аппаратуры. Для воспроизведения записи с граммофонных пластинок выпускаются проигрыватели, электрофоны, радиолы и магнитoрадиолы. Современные аппараты воспроизведения грамзаписи выполняются в основном стереофоническими с применением транзисторов. Монтаж усилителей представляет собой совокупность связанных между собой миниатюрных блоков, каждый из которых может быть легко заменен при необходимости. Перспективным является применение интегральных схем. Все эти аппараты содержат элект-

ропроигрывающее устройство (ЭПУ), представляющее собой шасси, на котором смонтированы движущий механизм с диском, звукосниматель и ручки управления.

Большинство современных ЭПУ — стереофонические. Они пригодны и для проигрывания монофонических пластинок. Выпускаемые монофонические ЭПУ также пригодны для обоих видов пластинок. При проигрывании на них стереопластинок достигается полноценное монофоническое звучание, а износ пластинки получается не больше, чем при проигрывании на стереофоническом ЭПУ.

Движущий механизм ЭПУ состоит из электродвигателя, системы передачи вращения от вала двигателя диску и самого диска.

В зависимости от требований, предъявляемых к ЭПУ, движущие механизмы выполняются различных конструкций и стоимости. Среди выпускаемых имеются модели с четырьмя частотами вращения диска (78, 45, 33¹/₃, 16²/₃ об/мин), но они сравнительно редки, так как большое количество частот вращения очень усложняет конструкцию механизма. Частота вращения 33¹/₃ об/мин является основной. Широко применяется частота вращения 45 об/мин для пластинок диаметром 17,5 см. Большинство новейших моделей обычно обеспечивают эти две частоты вращения. Иногда дополнительно предусматривают частоту вращения 16²/₃ об/мин, но 78 об/мин, как правило, отсутствует.

Полностью ручное управление ЭПУ почти не встречается. Самые распространенные автоматизированные функции — это автоматическое выключение ЭПУ с помощью автостопа по окончании проигрывания пластинки и подъем звукоснимателя с пластинки, а также плавное опускание на нее посредством микролифта.

Автостоп представляет собой систему рычагов, находящихся в сцеплении с деталью на поворотной ножке тонарма. При выходе иглы звукоснимателя на выводную канавку происходит резкое изменение шага записи, от чего тонарм получает большое ускорение. Это ускорение приводит в действие систему рычагов, в результате чего размыкается контакт в цепи питания электродвигателя. Для запуска ЭПУ тонарм отводят за борт пластинки, при этом поворотная ножка воздействует на рычаги, что приводит к замыканию контакта в цепи двигателя.

Микролифт применяется для сохранности пластинки при опускании и подъеме тонарма. Вручную эти операции не могут быть, как правило, выполнены настолько аккуратно, чтобы не повредить пластинку. Микролифт монтируется на плате ЭПУ у поворотной ножки тонарма. Наиболее распространенная конструкция микролифта представляет собой полую вертикальную трубку, внутри которой находится подвижной стержень. Подъем и опускание стержня управляется ручкой, нижний конец которой служит подвижной опорой стержня. В нерабочем, поднятом положении тонарма верхний конец стержня подпирает планку, укрепленную снизу на тонарме. Для проигрывания пластинки тонарм рукой устанавливают над вводной или любой выбранной канавкой зоны записи и затем опускают его ручкой микролифта. Для плавного опускания движение стержня демпфировано вязким материалом, заполняющим трубку.

В некоторых моделях ЭПУ автоматизированы и другие функции, например в конце проигрывания предусмотрены автоматический подъем звукоснимателя с пластинки и его возврат на опорную стойку с одновременным выключением двигателя и закорачиванием звукоснимателя.

Кроме ЭПУ, предназначенных для проигрывания одной пластинки, имеются автоматы для проигрывания группы пластинок с их автоматической сменой. Существуют два основных вида автоматов — для индивидуального и для общественного пользования. Индивидуальные автоматы более компактны: они рассчитаны на проигрывание стандартных пластинок, насаживаемых стопой обычно из 6—10 шт. на удлиненный центровой стержень диска. Центровой стержень имеет вид цилиндрической трубки с тремя продольными щелями. Внутри стержня находятся три одинаковых рычага, которые в одном положении частично выступают сквозь щели, образуя опору нижней пластинки в стопе, а в другом положении полностью убираются внутрь стержня, позволяя тем самым этой пластинке спуститься по стержню на диск: кроме того, в стержне предусмотрен механизм, удерживающий оставшуюся стопу пластинок при сбросе очередной пластинки. В простых моделях диаметр пластинок в стопе может быть любым стандартным, но одинаковым для всего набора, в более сложных автоматах возможно проигрывание стопы пластинок с разными диаметрами. В некоторых конструкциях автоматов стопа пластинок укладывается на вспомогательный стержень, установленный на плате ЭПУ. Каждая очередная пластинка автоматически переносится со стержня на диск для проигрывания: однако такие автоматы менее удобны и встречаются сравнительно редко. В связи с многообразием кинематических функций автомат представляет собой сложный механизм управления, который получает энергию обычно от того же двигателя, который вращает диск. Автомат последовательно выполняет следующие функции: установку тонарма над вводными канавками, опускание тонарма на вращающуюся пластинку, подъем с нее по окончании проигрывания, возврат тонарма в исходное положение, сброс очередной пластинки из стопы и далее повторение описанного цикла. Последняя пластинка из стопы в некоторых автоматах проигрывается многократно, поэтому необходимо ручное выключение. В лучших моделях звукосниматель отводится на опорную стойку, нагружает ее и тем самым выключает автомат.

Электродвигатели. В движущих механизмах ЭПУ нашли применение маломощные электродвигатели с питанием от сети переменного тока, а также и от автономных источников (встроенных батарей) для малогабаритных ЭПУ. Полезная мощность на валу двигателя в ЭПУ для единичного проигрывания не превышает 1 Вт, а в автоматах для стопочного проигрывания 1—3 Вт.

Из двигателей переменного тока основным видом, используемым для бытовой воспроизводящей аппаратуры, является однофазный асинхронный двигатель; в аппаратах более высокого класса все чаще применяются однофазные синхронные двигатели. Основным преимуществом синхронного двигателя по сравнению с асинхронным является строгое постоянство частоты вращения при значительных колебаниях напряжения сети и изменениях нагрузки. Двигателями постоянного тока оснащают миниатюрные ЭПУ, предназначенные для загородных прогулок и туристических походов.

В асинхронных двигателях частота вращения ротора $u_р$ всегда отстает от частоты вращения магнитного поля статора $u_с$. Это отставание называется с к о л ь ж е н и е м. Коэффициент скольжения равен отношению частоты скольжения $u_s = u_с - u_р$ к частоте вращения поля $u_с$:

$$s = \frac{u_s}{u_с} = \frac{u_с - u_р}{u_с},$$

откуда частота вращения ротора

$$u_p = u_c(1-s).$$

Величины $u_з$, u_c и u_p даются в об/мин.

В применяемых для ЭПУ асинхронных двигателях коэффициент скольжения достигает 5—7%.

Частота вращения магнитного поля u_c называется синхронной и связана с частотой сети питания f формулой

$$u_c = \frac{60f}{p}, \tag{1}$$

где f — частота, Гц; p — число пар полюсов статора.

Формула (1) показывает, что наибольшая частота вращения магнитного поля, которая может быть получена от двухполюсного двигателя ($p=1$) с питанием от сети переменного тока $f=50$ Гц, составляет 3 000 об/мин. Такими двигателями обычно оснащаются дешевые ЭПУ. Основным недостатком этих двигателей являются механические вибрации, передаваемые через привод диску проигрывателя и звукоснимателю и, таким образом, искажающие звучание. Для снижения помех от вибраций надо применять двигатели с меньшим числом оборотов, что достигается увеличением числа пар полюсов p. В лучших ЭПУ применяют двигатели с $p=12$.

Следует заметить, что при включении однофазного асинхронного двигателя его ротор оставался бы неподвижным, если бы не использовались вспомогательные пусковые средства. Это объясняется тем, что однофазный ток, протекая по обмоткам статора, создает не вращающееся магнитное поле — результат сложения двух сдвинутых по фазе магнитных переменных полей, а только одно переменное магнитное поле. От взаимодействия этого поля с наведенными токами в короткозамкнутой обмотке ротора к последнему оказываются приложены взаимно компенсирующиеся силы и ротор остается неподвижным. Для получения пускового момента прибегают к искусственным способам создания второго переменного магнитного поля.

Одним из решений этой задачи является однофазный асинхронный двигатель, статор которого изготовляют с расщепленными полюсами. В каждом полюсе делается прорезь, и его меньшая часть охватывается короткозамкнутым витком. Поле такого дополнительного полюса вместе с полем остальной части полюса образует требуемое вращающееся магнитное поле.

Другим решением задачи является однофазный асинхронный конденсаторный двигатель. Одна из двух обмоток статора включается в сеть через конденсатор, чем обеспечивается сдвиг фазы тока на 90°. Сумма полей двух обмоток при определенной емкости конденсатора создает необходимое вращающееся магнитное поле.

Из синхронных двигателей для ЭПУ наибольшее применение получили реактивные двигатели. Безобмоточный ротор такого двигателя имеет явно выраженные магнитные полюсы. Вращающий момент ротора создается взаимодействием вращающегося магнитного поля статора с полем полюсов ротора, в результате чего ротор «втягивается» в синхронизм, т. е. вращается с той же частотой, что и магнитное поле статора. Эта синхронная частота вращения определяется формулой (1).

Как и в асинхронном двигателе, вторая фаза, необходимая для получения вращающегося магнитного поля и пускового момента, об-

разуется либо включением конденсатора в одну из обмоток статора, либо применением конструкций статора с расщепленными полюсами.

В некоторых моделях ЭПУ используются синхронные гистерезисные двигатели, характерной особенностью которых является цилиндрический ротор, выполненный из магнитнотвердого материала, т. е. материала, имеющего широкую петлю гистерезиса. Вращающееся

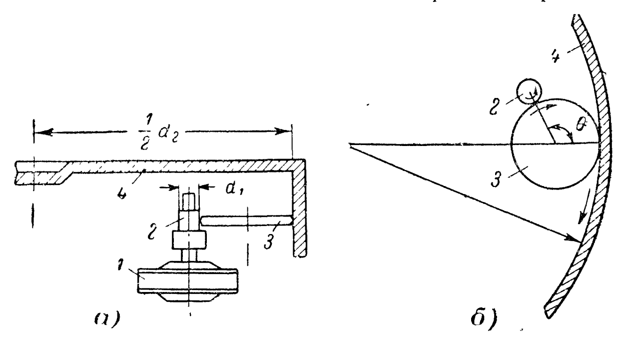


Рис. 9. Фрикционная передача с жесткой связью.

а — вид сбоку; *б* — вид сверху; *1* — двигатель; *2* — насадка; *3* — промежуточный ролик; *4* — диск.

магнитное поле здесь также создается статором. Гистерезисные двигатели просты по конструкции и надежны в работе. Гистерезисный двигатель может работать по выбору с любой из нескольких предусмотренных частот вращения, в зависимости от схемы включения его обмоток, что позволяет применять более простые конструкции передачи вращения от двигателя к диску проигрывателя.

При изготовлении двигателя любого типа для ЭПУ его ротор должен подвергаться динамической балансировке; это повышает равномерность вращения и снижает вибрации двигателя, происходящие обычно с частотой вращения двигателя.

Двигатель подвешивают к плате ЭПУ на пружинных, резиновых или комбинированных амортизаторах для ослабления воздействия механических помех на пластинку и на звукосниматель. В некоторых хороших моделях для большей амортизации пружины погружают в масло.

Системы передачи. Для приведения во вращение диска ЭПУ широкое применение нашли фрикционные передачи, связывающие двигатель с диском.

В более дешевых моделях ЭПУ используют жесткую фрикционную передачу, в которой вал двигателя, несущий цилиндрическую насадку, связан с диском проигрывателя через промежуточный обрезиненный ролик. В проигрывателях с несколькими частотами вращения насадка делается многоступенчатой по числу предусмотренных частот вращения. Принципиальная схема такой передачи изображена на рис 9.

В ЭПУ повышенного качества применяют комбинированную (жесткую и гибкую) фрикционную передачу. В ней, помимо промежуточного ролика, используется гибкий ремень, связывающий два

шкива, как это показано на рис. 10. В проигрывателях на одну или две частоты вращения иногда применяют только гибкую передачу бесконечным ремнем. Такая передача меньше шумит, чем с промежуточным роликом.

Достоинствами фрикционных передач являются их простота и возможность получения большого передаточного числа, определяемо-

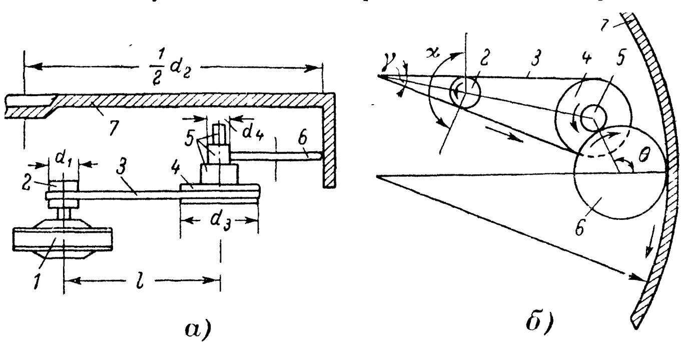


Рис. 10. Комбинированная фрикционная передача.

а — вид сбоку; *б* — вид сверху; *1* — двигатель; *2* — шкив на валу двигателя; *3* — ремень; *4* — шкив; *5* — насадка; *6* — промежуточный ролик; *7* — диск.

го соотношением частот вращения вала двигателя u_1 и диска проигрывателя u_2:

$$i = \frac{u_1}{u_2}. \tag{2}$$

Так, например, в дешевых бытовых проигрывателях с асинхронными двухполюсными двигателями необходимое для частоты вращения диска $33^1/_3$ об/мин передаточное число $i=84$ получается с жесткой фрикционной передачей, содержащей всего один промежуточный ролик.

К недостаткам фрикционных передач относится неизбежное скольжение соприкасающихся при вращении деталей, которое может сильно увеличиться от «засаливания» резинового обода промежуточного ролика или ремня. Кроме того, возможна деформация резины, если ролик длительно остается в зацеплении по окончании работы ЭПУ. Оба эти дефекта искажают звучание: при воспроизведении грамзаписи на аппаратах с большим скольжением слышно изменение тональности, а деформация резинового обода (вмятины) вызывает неприятное на слух периодическое постукивание.

Для надежного зацепления диска ЭПУ следует соблюдать условие, при котором сила, действующая со стороны вала двигателя на промежуточный ролик, стремилась бы прижать его к ободу диска. Для выполнения этого условия угол «втягивания» θ (рис. 9,*б* и 10,*б*) должен выбираться в пределах 100—130°. Несоблюдение этого условия приводит к неравномерному вращению диска, к проскальзыванию.

В ременных передачах для сообщения ремню необходимого натяжения на шкивах меньший шкив делают цилиндрической формы, а

больший — в виде бочонка; кроме того, угол обхвата α ремнем малого шкива (рис. 10,*б*) должен быть около 160°, чтобы поверхность соприкосновения ремня со шкивом была достаточной. Из этих же соображений передаточное число ременной передачи в проигрывателях не может быть большим и его обычно выбирают около двух.

Ниже приводятся расчетные формулы для двух наиболее распространенных систем передачи, которые были показаны на рис. 9 и 10. В основу этих формул положены соотношения окружных скоростей для каждой пары соприкасающихся деталей передачи с учетом скольжения

$$V_{n+1} = V_n (1 - s),$$

где $V_n = \pi d_n u_n$ — окружная скорость ведущей детали; $V_{n+1} = \pi d_{n+1} u_{n+1}$ — окружная скорость ведомой детали; s — коэффициент скольжения.

Для упрощения расчетов приняты для любой фрикционной пары одинаковые коэффициенты скольжения. При этом предположении, и учитывая формулу (2), диаметр насадки на валу двигателя для передачи с жесткой связью (рис. 9) рассчитывается по формуле

$$d_1 = \frac{u_2}{u_1} \frac{d_2}{(1-s)^2} = \frac{d_2}{i\,(1-s)^2}. \qquad (3)$$

Для передачи с комбинированной связью (рис. 10) диаметр насадки на валу большого шкива рассчитывается по формуле

$$d_4 = \frac{u_2}{u_1} \frac{d_2}{(1-s)^4} \frac{d_3}{d_1} = \frac{d_2}{i\,(1-s)^4} \frac{d_3}{d_1}. \qquad (4)$$

Для других частот вращения диска в формулы (2), а затем (3) и (4) следует подставить заданные значения u_2, чтобы получить требуемые диаметры d_1 или d_4 многоступенчатой насадки, с которыми сцепляется переключаемый промежуточный ролик.

Угол обхвата меньшего шкива ремнем определяется выражением

$$\alpha = 180° - \frac{d_3 - d_1}{l} 57{,}3°,$$

где α — в градусах; отсюда можно рассчитать расстояние между шкивами l.

Исходными для расчета являются частоты вращения двигателя u_1, диска u_2 и диаметр диска d_2. На основании приведенных выше рекомендаций задаются отношением диаметров шкивов ременной передачи d_3/d_1 и углами α и θ. Коэффициент скольжения s выбирают в пределах 0,01—0,03.

Диаметр промежуточного ролика выбирают исходя из удобства общей конструктивной компоновки механизма. Обычно он равен нескольким сантиметрам.

Конструкция диска. Для обеспечения равномерности вращения диска его стремятся делать массивным и с большим моментом инерции. В ЭПУ высокого качества масса диска доходит до 3—5 кг. Для увеличения момента инерции диаметр диска выбирают сравнительно большим, например 240 мм, стремясь при этом распределить массу ближе к ободу диска. Диски диаметром меньше 200 мм нежелательны еще и потому, что при использовании быстроходного двигателя насадка на его валу, необходимая для малой частоты вращения пластинки, получается слишком тонкой.

Следует заметить, что при тяжелом диске для быстрого установления нужной частоты вращения требуется повышенная мощность двигателя, что, однако, увеличивает механические вибрации. Поэтому в ЭПУ с массивными дисками стараются применять маломощные двигатели, а трудности быстрого запуска обходят тем, что тяжелый диск накрывают легким алюминиевым диском, на который кладется проигрываемая пластинка. Оба диска легко входят в сцепление и выходят из него, поэтому при пользовании производят остановку и запуск только легкого диска с пластинкой, а двигатель, вся система передачи и тяжелый диск-маховик находятся в непрерывном вращении. Этим достигается высокая стабильность частоты вращения. В момент переключения частоты вращения массивный диск выводится из сцепления с деталью привода, например с промежуточным роликом, и продолжает вращаться по инерции, а затем, по возобновлении сцепления, приобретает выбранную частоту вращения. Кроме того, благодаря маломощному двигателю механизм ЭПУ работает почти бесшумно.

В наиболее совершенных моделях ЭПУ с массивным диском и маломощным двигателем вместо четырехполюсных асинхронных двигателей на 1 500 об/мин используются синхронные двигатели с пониженной частотой вращения, в частности 16-полюсные и 24-полюсные двигатели на частоту вращения 375 и 250 об/мин соответственно. Питание двигателя производится от транзисторного генератора стабильной частоты, а переход с одной частоты вращения диска на другую достигается ступенчатым изменением частоты генератора.

В высококачественных ЭПУ предусматривается возможность точной подстройки частоты вращения диска. Один из способов состоит в торможении большого алюминиевого шкива ременной передачи полем установленного вблизи магнитного тормоза, возбуждающего в шкиве токи Фуко. Частота вращения регулируется изменением зазора между тормозом и шкивом.

Качественные показатели ЭПУ. Бытовая аппаратура для воспроизведения грамзаписи выпускается различных классов: с повышенными нормами технических показателей для высшего класса и менее строгими нормами для более дешевых аппаратов последующих классов.

Основными техническими показателями ЭПУ, влияющими на качество воспроизведения, являются: соответствие средней частоты вращения диска заданной, равномерность частоты вращения, уровень помех от собственных вибраций. Помимо этих показателей, зависящих, главным образом, от конструкции движущего механизма и точности его изготовления, существенны также показатели установленного в ЭПУ звукоснимателя, которые будут рассмотрены отдельно.

Для воспроизведения звука в правильной тональности диск проигрывателя должен вращаться с той же средней частотой, какую имел при записи лаковый диск. В зависимости от класса ЭПУ допускаются средние частоты вращения, отличающиеся в определенных пределах от номинального значения. В табл. 5 даны эти пределы для наиболее распространенных частот вращения на $33^1/_3$ и 45 об/мин.

Помимо обеспечения определенной средней частоты вращения диска требуется еще и возможно большая равномерность этого вращения. При неравномерном вращении воспроизводимый сигнал искажается: он оказывается частотно-промодулированным; происходит периодическое изменение высоты тона, которое называется *детонацией*. Детонация может иметь разный характер; она восприни-

Таблица 5

Номинальная частота вращения, об/мин	Нормы по классам		
	I	II	III
33 1/3	32,9—33,7	32,7—33,9	32,6—34,0
45,11	44,5—45,5	44,2—45,8	44,0—46,0

мается как «плавание» звука, если частота детонации находится в пределах 0,2—10 Гц, и ощущается как «дробление» звука, напоминающее трели, при частотах 10—30 Гц. При еще более высоких частотах детонации звук становится «жестким».

Чувствительность слуха к детонации зависит от ее частоты; наи-

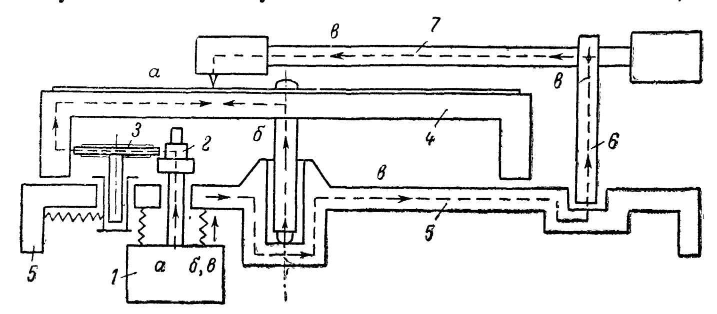


Рис. 11. Пути передачи вибраций от двигателя к игле звукоснимателя.

1 — двигатель; *2* — ступенчатая насадка; *3* — промежуточный ролик; *4* — диск; *5* — плата ЭПУ; *6* — поворотная ножка; *7* — тонарм звукоснимателя.

более заметна детонация с частотой 4 Гц. Причиной неравномерного вращения диска является недостаточная точность изготовления движущего механизма: несбалансированность ротора двигателя, эксцентриситеты вращающихся деталей, нестабильность трения во фрикционных сцеплениях и др. Поэтому детонация обычно происходит с несколькими частотами одновременно, каждая из которых обусловлена дефектом той или иной детали механизма. Специальный прибор детонометр позволяет определить эти частные коэффициенты детонации и тем самым выявить дефектные детали. Кроме того, детонометр измеряет общий коэффициент детонации, который благодаря выбранной оценочной кривой прибора довольно верно отражает слуховое восприятие детонации.

В ЭПУ хорошего качества общий коэффициент детонации составляет 0,1—0,2%, в лучших аппаратах он не превышает 0,1%, а для дешевых бытовых ЭПУ допускается 0,3%.

При воспроизведении грамзаписи, особенно в паузах, в громко-

говорителе прослушивается р о к о т. Эта низкочастотная помеха создается вибрациями двигателя или других деталей механизма, которые через ряд звеньев в итоге передаются игле звукоснимателя. Как видно из рис. 11, вибрация от двигателя может передаваться игле звукоснимателя следующими тремя путями: насадка, промежуточный ролик, диск (путь *а*); подвеска двигателя, плата, диск (путь *б*); подвеска двигателя, плата, поворотная ножка, тонарм звукоснимателя (путь *в*).

Причиной вибраций являются несбалансированный ротор двигателя, недостаточная механическая развязка двигателя от платы проигрывателя, недостаточная амортизация тонарма, а также дефекты выполнения и сборки любой вращающейся детали ЭПУ. Для подавления вибраций двигатель подвешивают к плате ЭПУ обычно через двойную амортизацию: статор двигателя крепится к металлической пластине через втулки из эластичного материала, а сама пластина вместе с укрепленными на ней деталями передачи крепится к основной плате ЭПУ через резиновые втулки или пружины цилиндрической или конической формы. Радикальной мерой борьбы с вибрациями является применение двигателей с малым числом оборотов в минуту и движущих механизмов с уменьшенным количеством осей вращения.

В отличие от детонации помехи от вибраций не имеют периодического характера, хотя их спектр обычно приходится на область 30—500 Гц с наиболее выраженными составляющими на частотах 50—100 Гц. Поскольку эта помеха наиболее заметна в паузах звучания, то в основу ее оценки положено измерение напряжения, развиваемого звукоснимателем при проигрывании немой канавки, с отнесением его к выходному напряжению звукоснимателя при воспроизведении записи некоторого нормированного сигнала. Допустимые значения помехи от вибраций приведены далее.

ЗВУКОСНИМАТЕЛИ

Принципы преобразования; типы звукоснимателей. Основными деталями звукоснимателя являются головка и тонарм, поддерживающий и направляющий головку при перемещении иглы по пластинке. В головке находится электромеханический преобразователь, связанный с иглой, назначение которого преобразовать механические колебания иглы, сообщаемые ей канавкой проигрываемой пластинки, в соответствующие электрические колебания; генерируемая при этом э. д. с. в зависимости от принципа преобразования пропорциональна либо отклонению иглы (а м п л и т у д н ы е з в у к о с н и м а т е л и), либо ее колебательной скорости (с к о р о с т н ы е з в у к о с н и м а т е л и).

В соответствии с физическими процессами, используемыми для преобразования, звукосниматели различаются по типам. Основными из них являются п ь е з о э л е к т р и ч е с к и й и м а г н и т н ы й.

В пьезоэлектрических звукоснимателях пьезоэлемент генерирует э. д. с. e, пропорциональную отклонению иглы y:

$$e = ky,$$

поэтому они являются амплитудными звукоснимателями

Магнитные звукосниматели развивают э. д. с., пропорциональную колебательной скорости иглы v:

$$e = kv,$$

т. е. являются скоростными звукоснимателями.

Из других, менее распространенных, типов звукоснимателей наиболее известны полупроводниковые, фотоэлектрические и емкостные. Все они являются амплитудными звукоснимателями.

В пьезоэлектрических звукоснимателях преобразователями механических колебаний в электрические являются кристаллические и керамические биморфные пьезоэлементы.

Кристаллические пьезоэлементы выполняются в виде пластин, которые вырезаются из кристаллов, обладающих естественным пьезоэффектом, например из кристаллов сегнетовой соли. Они работают как на изгиб, так и на скручивание, развивая при этом большую э. д. с., т. е. имеют высокую чувствительность. Однако кристаллические пьезоэлементы подвержены влиянию климатических условий, а именно они не работоспособны при температуре выше 40 °С и при относительной влажности среды более 75%. Поэтому звукосниматели с кристаллическими пьезоэлементами практически вытеснены звукоснимателями с керамическими элементами, обладающими высокой тепло- и влагостойкостью.

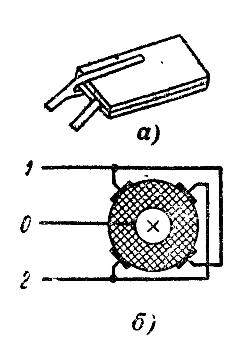


Рис. 12. Пьезоэлементы для звукоснимателей.

а — пластинчатый, *б* — трубчатый.

В современных пьезоэлектрических звукоснимателях используются керамические пьезоэлементы из титаната бария или более чувствительные из керамики ЦТС (на основе циркония титаната и свинца). Они выполняются в виде пластин или трубок. В керамических пьезоэлементах пьезоэлектрические свойства получают при их изготовлении искусственно, путем поляризации элементов высоким напряжением.

Биморфный пластинчатый пьезоэлемент (рис. 12, *а*) состоит из пары металлизированных с двух сторон керамических пластин, соприкасающихся плоскостями, на которых при деформации, вызванной колебаниями иглы, возникают заряды одного и того же знака; на внешних плоскостях при этом образуются заряды обратного знака. Выводы делают полосками из серебряной фольги. Для повышения механической прочности пьезоэлемента между пластинами помещают тонкую металлическую прокладку. Примерные размеры пьезоэлемента 17×3×1 мм.

Трубчатый пьезоэлемент в поперечном разрезе показан на рис. 12, *б*. На керамической трубке расположены две пары металлических полосок; каждая пара противолежащих полосок образует биморфный пьезоэлемент с общим выводом от внутренней стенки трубки. Трубка имеет наружный диаметр примерно 1,3, длину 15 мм.

Показанный на рисунке трубчатый пьезоэлемент предназначен для стереозвукоснимателей, но может быть также использован и для моновоспроизведения. На рис. 13 показана головка звукоснимателя с трубчатыми пьезоэлементами.

Внутреннее электрическое сопротивление пьезоэлектрического звукоснимателя определяется емкостью пьезоэлемента; для керамического пьезоэлемента она равна, примерно, 500 пФ, что составляет полное сопротивление 320 кОм на 1 000 Гц. С понижением частоты

сопротивление увеличивается и на частоте 100 Гц достигает уже 3,2 МОм.

Поскольку пьезоэлектрический звукосниматель относится к амплитудным звукоснимателям, то частотная характеристика его э. д. с. при неизменной колебательной скорости иглы имеет спад от низких частот к высоким.

Пьезоэлектрические звукосниматели используют обычно в дешевых ЭПУ, в моделях же высокого класса применяют магнитные звукосниматели, преимуществом которых являются малые искажения в широкой полосе частот. Магнитные звукосниматели имеют, к сожалению, малую чувствительность, что усложняет устройство усилителя, но это не препятствует применению их в аппаратах высокого класса.

Звукосниматели магнитного типа разделяются на звукосниматели с переменным магнитным сопротивлением, с подвижным магнитом, с подвижными катушками.

Принципиальная схема стереозвукоснимателя с переменным магнитным сопротивлением дана на рис 14, *а*.

Магнитная система звукоснимателя, разветвляясь, образует две одинаковые магнитные цепи (по числу стереоканалов), общей и подвижной деталью которых является иглодержатель *1*, сделанный из ферромагнитного материала.

Колебания иглодержателя в поле постоянного магнита *2* возбуждают в магнитной цепи, образованной иглодержателем, магнитом и связующим звеном *3* с полюсными наконечниками *4* и *5*, изменения магнитного потока, пропорциональные модуляции канавки грампластинки *8*. Изменения потока индуцируют

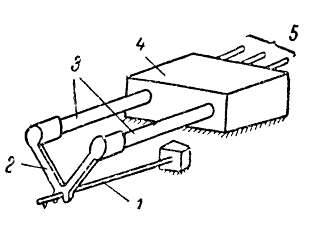
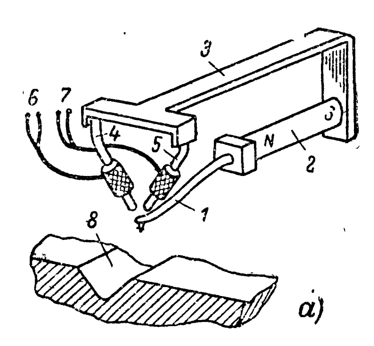


Рис. 13. Головка стереозвукоснимателя с двумя трубчатыми керамическими пьезоэлементами.

1 — иглодержатель; *2* — гибкий передатчик; *3* — трубчатые пьезоэлементы; *4* — демпфер; *5* — выводы.



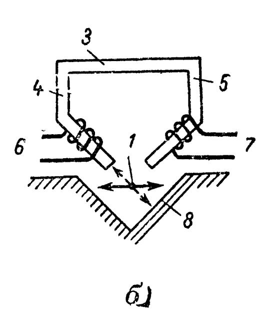


Рис. 14. Головка стереозвукоснимателя с переменным магнитным сопротивлением.

а — схематический вид головки звукоснимателя; *б* — схематическое изображение участка магнитной цепи с изменяющимся воздушным зазором.

в катушках правого *6* и левого *7* каналов соответствующие э. д. с. Катушки для лучшего разделения каналов расположены под прямым углом друг к другу. При поперечных колебаниях иглы (сплошные стрелки рис. 14, *б*) в обеих катушках магнитный поток меняется одновременно, увеличиваясь в одной и уменьшаясь в другой. В обеих катушках возникают равные и противоположно направленные э. д. с. Поскольку поперечные колебания соответствуют записанным по обоим каналам синфазным сигналам, то обе катушки звукоснимателя следует подсоединить к усилителям воспроизводящего аппарата так, чтобы диффузоры громкоговорителей при этом колебались синфазно.

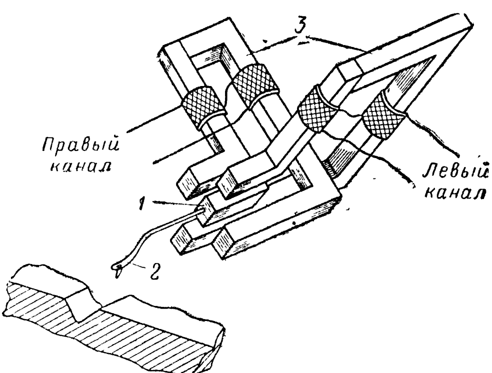


Рис. 15. Головка стереозвукоснимателя с подвижным магнитом.

Колебания иглы под углом 45° указывают на воспроизведение записи, выполненной только по одному каналу, например правому (пунктирные стрелки рис. 14, *б*), что соответствует модуляции одной только правой стенки канавки; при этом в левом канале сопротивление магнитной цепи не меняется, поскольку зазор между соответствующим полюсным наконечником и иглодержателем остается почти постоянным. В данном случае э. д. с. будет возникать только в катушке правого канала. При колебаниях иглы под любым другим углом э. д. с. будет возникать в обеих катушках.

Представление о стереозвукоснимателе с подвижным магнитом дает рис. 15. Миниатюрный постоянный магнит *1* (примерные размеры 3×1,5×1,5 мм) скреплен с иглодержателем *2* и составляет с ним одно целое. Магнит через эластичную втулку (на рисунке не показанную) укреплен между концами двух сердечников *3* с насаженными на них катушками, что создает в звукоснимателе две одинаковые магнитные системы соответственно для левого и правого каналов. Катушки одного сердечника расположены под прямым углом к катушкам другого, что улучшает разделение между каналами. Благодаря эластичной втулке блок игла — магнит легко подвижен. При колебаниях иглы под углом 45° к поверхности пластинки, когда воспроизводится запись только левого или только правого канала, магнит колеблется только в плоскости соответствующего сердечника и в его катушках индуцируется э. д. с. При колебаниях иглы под любым дру-

гим углом э. д. с. возникают в обеих парах катушек пропорционально модуляциям левой и правой стенок канавки.

В стереозвукоснимателях с подвижными катушками иглодержатель жестко связан с двумя миниатюрными катушками, соответствующими левому и правому каналам. Под воздействием иглы катушки колеблются в магнитном поле, возбуждаемом постоянным магнитом. Преимуществом таких звукоснимателей являются малые искажения в процессе преобразования, так как положение катушек в однородном магнитном поле не влияет на само поле. Поскольку масса подвижной системы должна быть невелика, чтобы звукосниматель мог работать в широком диапазоне частот, катушки имеют малое число витков и это приводит к низкой чувствительности звукоснимателя. Поэтому область их применения ограничивается профессиональной аппаратурой.

Полупроводниковые звукосниматели конструктивно аналогичны пьезоэлектрическим звукоснимателям. Преобразующим элементом является полупроводниковый материал, например кремниевые пластины, электрическое сопротивление которых изменяется при механических нагрузках — сжатии или растяжении. Если через полупроводник пропустить постоянный ток, то изменение сопротивления проявится в виде переменного напряжения на нагрузке преобразователя.

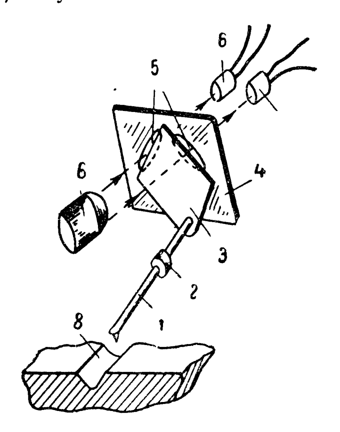


Рис. 16. Головка фотоэлектрического стереозвукоснимателя.

Эти свойства и используются в звукоснимателях. Полупроводниковый преобразователь в отличие от пьезоэлектрического не является генератором э. д. с., а представляет собой управляющий орган, роль которого сводится к изменению протекающего по нему тока.

Примерные размеры кремниевых пластин преобразователя $5\times0{,}2\times0{,}15$ мм; они укрепляются на пластмассовых планках с контактами.

Полупроводниковые звукосниматели имеют хорошие технические характеристики: приведенная к игле масса подвижной системы мала, гибкость большая — около $20\cdot10^{-3}$ м/Н, поэтому такие звукосниматели могут работать в широком диапазоне частот, начиная с частоты 0 Гц. К преимуществам полупроводниковых звукоснимателей относятся их высокая прочность, нечувствительность к магнитным полям, в том числе к фону переменного тока.

Недостатком полупроводниковых звукоснимателей является необходимость их электропитания от высокостабильного источника постоянного напряжения, кроме того, при стереовоспроизведении необходимо применение фазоинверторных схем, так как обе пластины при деформации дают напряжения, сдвинутые по фазе на 180°.

В фотоэлектрических звукоснимателях используется модуляция светового потока. Принципиальная схема такого стереозвукоснимате-

ля дана на рис. 16. Иглодержатель 1 через эластичную втулку 2 связан с подвижным экраном 3, расположенным перед неподвижным экраном 4, в котором имеются две щели 5, расположенные под прямым углом друг к другу. Через щели проходит световой поток от миниатюрной лампы 6, питаемой постоянным током. Он попадает на находящиеся за подвижным экраном два фотодиода 6 и 7 правого и левого каналов соответственно. Колебания иглы передаются иглодержателем экрану, который при этом соответственно модуляции канавки 8 заслоняет в той или иной мере каждую щель. Изменяющийся благодаря этому световой поток модулирует ток фотодиодов. Таким образом, фотоэлектрические звукосниматели, как и полупроводниковые, непосредственно не генерируют э. д. с., а являются управляющими органами.

Модель фотоэлектрической стереоголовки С-100Р, разработанная японской фирмой «Тосиба», представляет собой сферу радиусом 25 мм, где помещаются все упомянутые выше детали. Иглодержатель, лампа, фотодиоды легко заменяемы. Звукосниматель отличается хорошими техническими характеристиками. Приведенные к игле прижимная сила 0,005 Н, гибкость (горизонтальная и вертикальная) $30 \cdot 10^{-3}$ м/Н, действующая масса подвижной системы 0,3 мг, чувствительность 14,5 мВ/см/с, рабочий диапазон частот 20—40 000 Гц, характеристика равномерна в пределах ± 1 дБ до 20 000 Гц, разделение каналов более 30 дБ на 1 кГц и не менее 25 дБ на других частотах.

Ввиду высокой стоимости фотоэлектрические звукосниматели пока не распространены и применяются только в единичных высококачественных аппаратах. Предполагается, что использование в них люминесцентных диодов может оказаться перспективным.

В емкостных звукоснимателях подвижная система состоит только из иглодержателя с иглой, в связи с чем они характеризуются большой гибкостью, малой динамической массой и широким частотным диапазоном.

В монофонической головке такого звукоснимателя иглодержатель является подвижной пластиной конденсатора, другая пластина которого неподвижна. В стереофонической головке имеются два конденсатора, подвижные пластины которых, связанные с иглодержателем, расположены перпендикулярно друг к другу и под углом 45° к проигрываемой пластинке. Таким образом, получаются два емкостных датчика соответственно двум стереоканалам.

Поскольку изменения емкости датчика при колебаниях иглы слишком малы, то для повышения отдачи используют способ частотной модуляции. При этом способе емкостный датчик подключается к контуру ВЧ генератора. При колебаниях иглы изменяется емкость датчика, что модулирует резонансную частоту контура и, следовательно, частоту генерируемых колебаний.

Обычно несущая частота выбирается около 20 МГц, причем контур монтируют непосредственно в звукоснимателе. После преобразования ЧМ колебаний в АМ, демодуляции и отфильтровывания несущей частоты получают НЧ сигналы, соответствующие записанным на пластинке. Стереозвукосниматель содержит две такие системы преобразования сигналов.

Примерные технические данные емкостных звукоснимателей: рабочий диапазон частот 20—20 000 Гц, прижимная сила 0,012 Н, гибкость $25 \cdot 10^{-3}$ м/Н, чувствительность на выходе электрической системы 200 мВ/см/с, разделение каналов не менее 20 дБ.

Из-за необходимости довольно сложной электрической системы преобразования, которая к тому же должна работать очень стабильно, емкостные звукосниматели применяются сравнительно редко.

Технические показатели звукоснимателей. Звукосниматель характеризуется механическими и электрическими показателями. К механическим относятся: прижимная сила звукоснимателя, гибкость, действующая масса подвижной системы.

Смысл и значение отдельных механических показателей вытекают из анализа сил взаимодействия, возникающих между канавкой пластинки и иглой звукоснимателя во время проигрывания.

При вращении пластинки модулированная канавка, отклоняя иглу, воздействует на нее с силой, которая равна противодействующей силе реакции иглы на канавку. Эта сила реакции $F_р$ определяется механическим сопротивлением подвижной системы звукоснимателя z и колебательной скоростью v, переданной канавкой игле: $F_р = zv$.

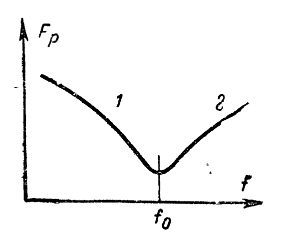


Рис. 17. Частотная характеристика силы реакции $F_р$ подвижной системы звукоснимателя.

Поэтому для уменьшения усилий, требуемых от канавки, нужен звукосниматель с небольшим z, т. е. имеющий подвижную систему с малыми действующей массой, трением и упругостью или, поскольку обратная величина упругости есть гибкость, с большой гибкостью. Сила реакции $F_р$ частотнозависима: наибольших значений она достигает на краях рабочего диапазона частот (рис. 17). На низких частотах влияние упругости подвижной системы звукоснимателя преобладает над ее инерцией и сила реакции $F_р$ изменяется соответственно изменению сопротивления, имеющего упругий характер, т. е. по спадающей ветви *1*. На высоких частотах сила $F_р$ приобретает инерциальный характер — поведением подвижной системы звукоснимателя здесь управляет ее масса; изменение силы $F_р$ происходит по ветви *2*. Наименьшее значение сила реакции имеет на некоторой частоте f_0, где обе ее составляющие — упругая и инерциальная, равны и компенсируют друг друга; на этой частоте сила реакции обусловлена только сопротивлением трения системы, которым из-за его малости обычно пренебрегают. Частота f_0 определяется собственным механическим резонансом подвижной системы, в области резонанса износ пластинки и иглы минимален.

При упругом характере сила реакции стремится вернуть иглу в положение покоя и поэтому давит на отклоняющую стенку канавки, а при инерциальном характере, наоборот, стремится удалить иглу от положения покоя и, следовательно, оказывает давление на стенку, противоположную отклоняющей.

Чтобы игла под воздействием силы реакции не поднималась по стенке канавки и, таким образом, не имела тенденции к выскакиванию, необходимо, чтобы прижимная сила звукоснимателя G, т. е. та вертикальная сила, которая действует через иглу на канавку, была больше силы $F_р$. Тогда в результате взаимодействия этих двух сил игла в любой момент времени будет прижиматься к обеим стенкам канавки одновременно; сила прижима к каждой из

них будет непрерывно изменяться соответственно с модуляцией канавки, раскачивающей иглу.

На рис. 18 показано распределение сил, воздействующих на канавку через иглу. В немой канавке (рис. 18, *а*) составляющие P_1 и P_2 прижимной силы оказывают одинаковые давления на стенки канавки; кроме того, в местах контакта иглы с канавкой появляются силы трения, направленные против движения канавки, которые для простоты на рисунке не показаны.

В модулированной канавке, кроме прижимной силы G, действует сила реакции $F_р$; на рис. 18, *б*, *в* эта сила показана как имеющая уп-

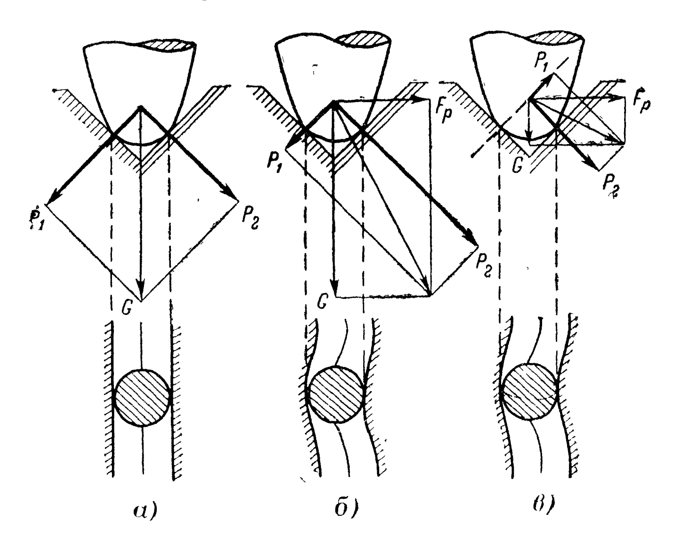


Рис. 18. Силы, действующие в немой канавке (*а*) и модулированных канавках при правильном (*б*) и неправильном (*в*) соотношении между прижимной силой G и силой реакции $F_р$ подвижной системы звукоснимателя.

ругий характер и поэтому направлена к отклоняющей стенке канавки. В результате сложения векторов G и $F_р$ получается равнодействующая сила, составляющие которой равны P_1 и P_2. Как видно из рисунков, игла ведется обеими стенками канавки при $G > F_р$ (рис. 18, *б*); несоблюдение этого условия приводит к потере контакта с одной из стенок и к выходу иглы из канавки под действием силы P_1 (рис. 18, *в*).

В стереофонической пластинке каждая стенка канавки несет свою информацию, поэтому ведение иглы обеими стенками особенно необходимо.

Поскольку как чрезмерная, так и недостаточная прижимные силы приводят к повышенному износу пластинки, иглы и к искажениям, в паспортных данных звукоснимателя следует указывать допустимые пределы прижимной силы, при которых звукосниматель работает устойчиво и не портит пластинку. Желательно устанавливать прижим-

ную силу ближе к низшему пределу, однако в случае коробленной пластинки или значительных биений диска ЭПУ прижимная сила может быть увеличена в дозволенных пределах.

При проектировании головки звукоснимателя, задавшись прижимной силой, которая при выбранных размерах иглы не вызывает недопустимых механических напряжений в материале пластинки, находят наибольшую допустимую силу реакции подвижной системы звукоснимателя $F_р$ исходя из соотношения

$$G \approx (2 \div 3) F_р, \tag{5}$$

Превышение прижимной силы G над силой реакции $F_р$ в 2—3 раза вводится как гарантия надежного ведения иглы обеими стенками канавки.

Поскольку $F_р$ имеет наибольшие значения на краях частотного диапазона (см. рис. 17), то для предельных заданных частот $f_н$, $f_в$ и соответствующих им максимальных уровней записи находят параметры подвижной системы — гибкость

$$c = A_{макс}/F_р \tag{6}$$

и действующую массу

$$m = F_р/w_{макс}, \tag{7}$$

где $A_{макс}$ — наибольшая амплитуда смещения канавки на частоте $f_н$; $w_{макс} = \omega^2 A_{макс}$ — максимальная амплитуда колебательного ускорения канавки на частоте $f_в$; $\omega = 2\pi f_в$.

Гибкость c характеризует способность подвижной системы звукоснимателя отклоняться под действием приложенной к игле силы. Чем больше гибкость, тем меньшее усилие требуется от модулированной канавки, чтобы отклонить иглу. Так как прижимная сила звукоснимателя, удерживающая иглу в надежном контакте с канавкой, находится в прямой зависимости от отклоняющей силы, то звукосниматели с большой гибкостью подвижной системы могут работать при малой прижимной силе. Отсюда очевидно, что прижимная сила и гибкость — показатели взаимосвязанные, влияющие на износ пластинки и иглы. Головки звукоснимателя с гибкостью не меньше $10 \cdot 10^{-3}$ м/Н и прижимной силой 0,015 Н легко проигрывают канавки с амплитудой смещения более 50 мкм. Для стереозвукоснимателей, ввиду того что глубинная амплитуда смещения меньше поперечной амплитуды, вертикальная гибкость может быть в 1,5—2 раза меньше горизонтальной гибкости.

Действующая масса m влияет на поведение подвижной системы на высоких частотах. С уменьшением действующей массы расширяется частотный диапазон звукоснимателя и уменьшается инерциальная составляющая силы реакции $F_р$. Поэтому стремятся к возможно меньшей действующей массе, которая в высококачественных моделях не превосходит 0,5 мг.

Обычно наибольшее значение инерциальной составляющей силы $F_р$ не превосходит упругую составляющую той же силы, поэтому при проверке выполнения соотношения (5) ограничиваются низкочастотным диапазоном [формула (6)].

Перейдем к рассмотрению электрических показателей звукоснимателя.

Чувствительность звукоснимателя S (мВ/см/с) представляет собой отношение выходного напряжения U к колебательной

скорости v, с которой записан сигнал заданной частоты. Обычно в паспорте звукоснимателя указывается чувствительность при частоте 1 000 Гц:

$$S = U/v \qquad (8)$$

Для стереозвукоснимателей чувствительность дается по каждому каналу. В зависимости от типа преобразователя и от конструкции головки звукоснимателя чувствительность колеблется в широких пределах; так, например, магнитные звукосниматели имеют чувствительность от десятых долей до нескольких милливольт на 1 см/с, а пьезоэлектрические звукосниматели — в десятки раз большую. Чувствительность звукоснимателя, помноженная на максимально допустимое значение v (14 для моно и 10 см/с для стереоканала), является исходной величиной для расчета усилителя воспроизведения.

Частотная характеристика звукоснимателя — один из основных показателей его качества. Она представляет собой зависимость напряжения на нагрузке звукоснимателя от частоты при воспроизведении сигналов, записанных с неизменной колебательной скоростью.

Частотную характеристику принято выражать в децибелах, при этом за 0 дБ принимается напряжение на 1 000 Гц:

$$D = 20 \lg \frac{U_f}{U_{1\,000}}, \text{ дБ}, \qquad (9)$$

где U_f — напряжение измеряемого сигнала частоты f; $U_{1\,000}$ — напряжение при частоте $f = 1\,000$ Гц.

Звукосниматель высокого класса должен обладать достаточно равномерной частотной характеристикой в диапазоне 20—20 000 Гц. Для звукоснимателей, используемых в дешевых портативных аппаратах, допустим более узкий диапазон 50—10 000 Гц.

Ход частотной характеристики и ее протяженность определяются принципом преобразования и конструкцией подвижной системы звукоснимателя; на основании частотной характеристики звукоснимателя определяется необходимая поправка к нормированной характеристике канала воспроизведения (табл. 3).

Существенными электрическими показателями для стереозвукоснимателей являются рассогласование каналов по чувствительности и по частотной характеристике, а также проникание сигналов из канала в канал. Все эти показатели влияют на стереоэффект при воспроизведении.

Рассогласование по чувствительности отрицательно сказывается на стереоэффекте, поэтому стремятся к возможно большей идентичности левого и правого каналов. Рассогласование нормируют при частоте 1 000 Гц, определяя его соотношением чувствительностей обоих каналов:

$$D_\text{р} = 20 \lg \frac{S_1}{S_2}, \text{ дБ}, \qquad (10)$$

где S_1 — бо́льшая чувствительность; S_2 — меньшая чувствительность.

Для стереозвукоснимателей среднего качества рассогласование по чувствительности не должно быть больше 2 дБ.

Рассогласование по частотной характеристике определяется как наибольшее расхождение характеристик правого и левого каналов, совмещенных на частоте 1 000 Гц. В хороших

звукоснимателях рассогласование в диапазоне до 10 кГц не должно превышать 2 дБ.

Проникание сигнала из одного канала в другой должно быть достаточно малым, чтобы звучание было стереофоническим. Полное взаимное проникание сигналов сводит звучание к монофоническому, а частичное проникание — к снижению стереоэффекта и к его специфическим искажениям, а именно к изменению протяженности звуковой базы и к ее сдвигу вправо или влево от слушателя. Проникание в той или иной мере всегда существует, поскольку требуемое расположение обеих подвижных систем в головке стереозвукоснимателя относительно друг друга, а также ее симметричная установка на проигрываемой пластинке могут быть выполнены лишь с относительной точностью. Поэтому вводится показатель — относительный уровень проникания

$$D = 20 \lg \frac{U_п}{U}, \text{ дБ}, \quad (11)$$

Оба напряжения $U_п$ и U измеряют на выходе проверяемого канала звукоснимателя, например левого; при этом $U_п$ — напряжение, возникшее в результате проникания из правого канала в левый, U — полезное напряжение от собственного сигнала левого канала. Сигналы, записанные по левому и правому каналам, должны быть одинаковы по частоте и колебательной скорости.

Уровень относительного проникания, как это следует из (11), выражается отрицательной величиной.

Наряду с этим показателем проникания, рекомендованным МЭК, его иногда оценивают переходным затуханием

$$D = 20 \lg \frac{U_1}{U_2}, \text{ дБ}, \quad (12)$$

где U_1 — полезное напряжение сигнала в одном канале; U_2 — напряжение сигнала в другом канале, возникшее в результате проникания из первого канала. Переходное затухание оценивается для обоих каналов.

Нарушения стереоэффекта не замечается, если переходное затухание между каналами не менее 20 дБ на средних частотах и не менее 15 дБ на высоких частотах. Ниже 200 Гц проникание не имеет практического значения, так как в этой области частот направленность слуха слабо выражена. Приведенные выше цифры переходного затухания выдерживаются в звукоснимателях среднего качества.

Выбор нагрузочного сопротивления звукоснимателей. Номинальная частотная характеристика, которую должен иметь канал воспроизведения грамзаписи, была нами уже рассмотрена и приведена в табл. 3 и на рис. 6. Эта характеристика образуется как сумма характеристик звукоснимателя и усилителя воспроизведения, поэтому для расчета усилителя надо знать характеристику звукоснимателя. Последняя в первую очередь зависит от того, является ли звукосниматель амплитудным или скоростным. Амплитудный звукосниматель, в принципе, имеет характеристику со спадом 6 дБ/октава[1] от самых низких до самых высоких частот (рис. 19, *а*). Скоростной звукосниматель обладает равномерной характеристикой (рис. 19, *б*). Кроме

[1] Октавой называется частотный диапазон с граничными значениями частоты, относящимися как 2 : 1.

того, на частотную характеристику звукоснимателей того и другого типов влияет величина их нагрузочного сопротивления, что конечно, должно приниматься во внимание и иногда даже используется как средство корректировки характеристики.

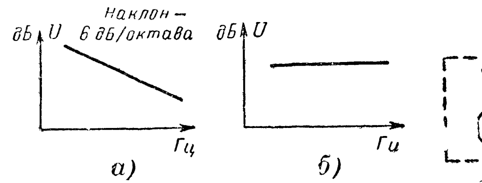


Рис. 19. Принципиальный ход частотных характеристик звукоснимателей (измеряется при воспроизведении сигналов, записанных с постоянной колебательной скоростью).

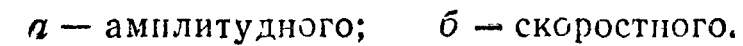

а — амплитудного; б — скоростного.

Рис. 20. Эквивалентная схема включения пьезоэлектрического звукоснимателя.

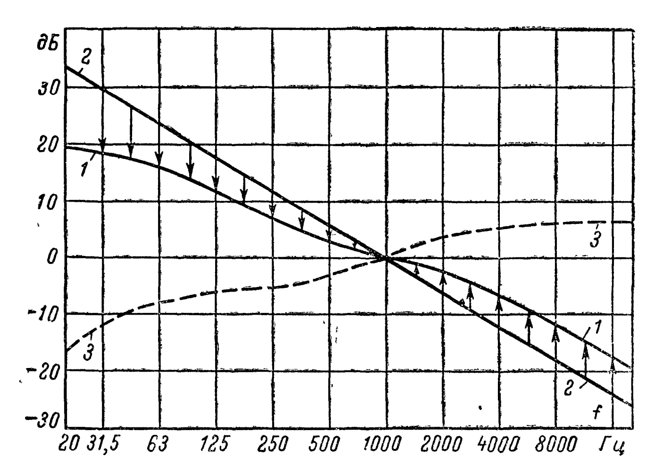


Рис. 21. К корректированию частотной характеристики отдачи пьезоэлектрического звукоснимателя.

1 — номинальная характеристика канала воспроизведения; 2 — характеристика амплитудного звукоснимателя; 3 — характеристика компенсации.

Эквивалентная схема включения пьезоэлектрического звукоснимателя на вход лампового усилителя дана на рис. 20, где звукосниматель представлен в виде генератора с э. д. с. E и собственной внутренней емкостью $C_э$, а нагрузкой является резистор $R_н$. Допустимую величину $R_н$ можно определить следующим образом. Сопоставляются номинальная частотная характеристика канала воспроизведения

и характеристика амплитудного звукоснимателя. Обе характеристики, совмещенные на частоте 1 кГц, приведены на рис. 21. Разность ординат кривых *2* и *1* на каждой частоте дает характеристику требуемой компенсации *3*. Так, например, на частоте 125 Гц следует понизить выходное напряжение звукоснимателя U на 6,4 дБ относительно э. д. с., развиваемой звукоснимателем на этой же частоте:

$$20\lg\frac{U}{E}=-6{,}4\ \text{дБ},$$

т. е. в 2,09 раза.

Из рис. 20 следует:

$$\frac{E}{U}=\frac{\sqrt{R_н^2+\dfrac{1}{\omega^2C_э^2}}}{R_н}=$$

$$=\sqrt{1+\left(\frac{1}{\omega C_э R_н}\right)^2}, \qquad (13)$$

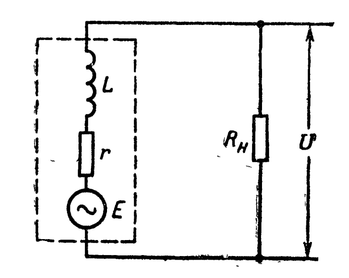


Рис. 22. Эквивалентная схема включения магнитного звукоснимателя.

откуда при $E/U=2{,}09$ получаем $R_н=0{,}55/\omega C_э$, где $\omega=2\pi f$.

Выражая $R_н$ в мегомах, а $C_э$ — в пикофарадах, получаем для частоты $f=125$ Гц $R_н=695/C_э$.

Принимая для керамических звукоснимателей $C_э=500$ пФ, имеем $R_н=1{,}4$ МОм .

Эта нагрузка, выбранная из условия совпадения характеристики отдачи звукоснимателя с номинальной характеристикой канала воспроизведения на частоте 125 Гц, вызывает в области ниже 125 Гц некоторый завал (около 3 дБ на частоте 63 Гц), а в области от 125 Гц до 1 кГц — незначительный подъем (около 2,5 дБ на частоте 250 Гц) относительно номинальной характеристики канала воспроизведения. Такое расхождение вполне допустимо для бытовой воспроизводящей аппаратуры.

В области высоких частот характеристика звукоснимателя не управляется нагрузкой и необходимый подъем, который показан на рис. 21 стрелками, обращенными вверх, достигается либо путем использования собственного высокочастотного резонанса подвижной системы звукоснимателя, либо электрической коррекцией в усилителе.

Следует иметь в виду, что в реальных условиях всегда присутствует емкость C экранированного провода звукоснимателя, шунтирующая нагрузочное сопротивление $R_н$; она несколько увеличивает подъем частотной характеристики отдачи звукоснимателя в области низких частот и снижает отдачу на высоких частотах. Величина емкости C стандартизована и не должна быть более 150 пФ; для учета ее действия вместо формулы (13) более точно пользоваться формулой

$$\frac{E}{U}=\sqrt{\left(\frac{C_э+C}{C_э}\right)^2+\left(\frac{1}{\omega C_э R_н}\right)^2}, \qquad (14)$$

При работе пьезоэлектрического звукоснимателя с транзисторным усилителем, имеющим низкое входное сопротивление, предусматривается предварительное согласование нагрузки. В простейшем случае звукосниматель нагружают на последовательно включенные высокоомный балластный резистор и резисторный регулятор громкости, с выхода которого подается напряжение на первый каскад усилителя. Лучшим решением является выполнение первой ступени усилителя по схеме эмиттерного повторителя; такая схема, примененная в электрофоне «Аккорд-стерео», выпускаемом Рижским электромеханическим заводом, позволила получить входное сопротивление усилителя 1 МОм.

Итак, при работе с пьезоэлектрическим звукоснимателем, требуемую номинальную частотную характеристику канала воспроизведения грамзаписи удается достичь очень простыми средствами: выбором надлежащего сопротивления нагрузки и отчасти коррекцией на высоких частотах в усилителе. Последний может иметь равномерную частотную характеристику. Однако обычно в усилителе предусматривают раздельную по низким и высоким частотам регулировку тембра, в пределах ±10 дБ, с тем чтобы скорректировать неравномерность характеристики громкоговорителя и, наконец, чтобы иметь возможность по вкусу несколько изменить характер звучания.

Сложнее обстоит дело при использовании магнитного звукоснимателя. Он имеет равномерную частотную характеристику (рис. 19, *б*), которую нужно сильно корректировать в усилителе. Иногда это достигают с помощью регуляторов тембра, но весьма неточно, так как подбор положения ручек регуляторов производится на слух; иногда в схему усилителя кроме регуляторов тембра включают специальный фильтр с характеристикой, подобной номинальной характеристике канала воспроизведения. Но и в том и в другом случаях, имея в виду низкую чувствительность магнитного звукоснимателя, стараются приблизить условия его работы к холостому ходу, т. е. выбрать сопротивление нагрузки достаточно большим, чтобы улучшить перекрытие собственных шумов входного каскада усилителя.

Эквивалентная схема включения магнитного звукоснимателя изображена на рис. 22. Его внутреннее сопротивление состоит из активного сопротивления r и индуктивности обмотки L. Определим нагрузочное сопротивление $R_н$, исходя из некоторого допустимого спада в отдаче звукоснимателя на высшей частоте рабочего диапазона $\omega_в$:

$$\frac{E}{U} = \sqrt{\left(\frac{r + R_н}{R_н}\right)^2 + \left(\frac{\omega_в L}{R_н}\right)^2}. \qquad (15)$$

Так как $r \ll R_н$, то

$$\frac{E}{U} \approx \sqrt{1 + \left(\frac{\omega_в L}{R_н}\right)^2}. \qquad (16)$$

Здесь r, $R_н$ выражены в омах, L — в генри.

Если допустить спад в отдаче 3 дБ (1,41 раза), то из (16) получим $R_н = \omega_в L$.

Для современных магнитных звукоснимателей стандартизовано нагрузочное сопротивление $R_н = 47$ кОм. Это значит, что указанный спад 3 дБ на частоте $f = 15\,000$ Гц получается при индуктивности

обмоток звукоснимателя $L=500$ мГн. Так как индуктивность обмоток обычно меньше этой величины, то нагрузка 47 кОм обеспечивает работу звукоснимателя в режиме, близком к холостому ходу в еще более широком диапазоне частот. Очевидно, что магнитный звукосниматель ввиду его низкоомного выходного сопротивления может быть непосредственно включен на вход транзисторного усилителя.

Поскольку с уменьшением массы подвижной системы звукоснимателя его частотный диапазон расширяется в сторону высоких частот, то высококачественные магнитные звукосниматели с подвижными катушками имеют ограниченное количество витков, в частности звукосниматели так называемого «ленточного» типа имеют всего один виток; э. д. с. таких звукоснимателей мала и они включаются через повышающий трансформатор, вторичная обмотка которого рассчитана на стандартную нагрузку 47 кОм. Первичная обмотка во избежание завала низких частот должна иметь сопротивление на низшей рабочей частоте большее, чем выходное сопротивление звукоснимателя.

Для защиты от электрических и магнитных наводок входной трансформатор помещают в экран и соответствующим образом ориентируют при монтаже.

ТОНАРМЫ ЗВУКОСНИМАТЕЛЕЙ

Основные сведения. Назначение тонарма — надежно и точно вести головку звукоснимателя при проигрывании пластинки, а именно так, чтобы игла перемещалась вдоль его радиуса или в общем случае с минимальным отклонением от него; при этом сам тонарм должен свободно, с минимальным трением, перемещаться над пластинкой и не вносить изменений в колебания иглы, обусловленные модуляцией канавки, т. е. должен вести себя пассивно. Кроме того, тонарм должен обеспечивать поддержание контакта иглы с обеими стенками канавки, что особенно существенно при стереовоспроизведении.

Поскольку современные пластинки изготовляются из эластичных материалов, то от давления иглы звукоснимателя стенки канавки могут деформироваться. Эта деформация происходит от совокупности сил, действующих в канавке — статической, какой является прижимная сила звукоснимателя, и динамических, возникающих при проигрывании пластинки. Достаточно указать, что под влиянием только прижимной силы 0,03 Н стенка канавки испытывает давление около $3\cdot10^9$ Па (300 кгс/мм^2). Чтобы избежать необратимых пластических деформаций канавки, действующие в ней силы должны быть ограничены. Поэтому в лучших стереозвукоснимателях прижимная сила уменьшена до величины, не превышающей 0,015 Н, что удалось сделать благодаря значительному увеличению гибкости подвижной системы звукоснимателя — в среднем до $10\cdot10^{-6}$ м/Н в горизонтальном и вертикальном направлениях, а также благодаря уменьшению действующей массы подвижной системы до величины, не превышающей 1 мг. Чтобы тонарм не участвовал в колебаниях иглы, обусловленных модуляцией канавки, его масса должна быть достаточно велика по сравнению с массой подвижной системы головки звукоснимателя и в то же время она не должна быть чрезмерной во избежание дополнительной нагрузки на канавку при проигрывании эксцентрической или коробленной пластинки.

Наиболее широкое распространение получили трубчатые металлические тонармы как не склонные к собственным колебаниям; они

могут поворачиваться на поворотной ножке в вертикальной и горизонтальной плоскостях. На удаленном от поворотной ножки конце тонарма укреплена головка звукоснимателя, на противоположном конце находится противовес. Ввиду того что проигрывание пластинки во избежание ее порчи ведется при сравнительно малых силах воздействия иглы на канавку (0,01—0,05 Н), к подшипникам осей поворотной ножки предъявляются высокие требования. Вертикальная ось поворота для переноса тонарма в горизонтальной плоскости враща-

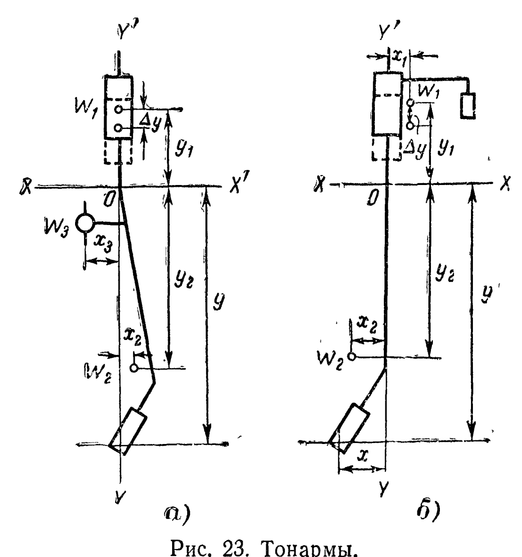


Рис. 23. Тонармы.

а — сбалансированный; *б* — несбалансированный.

ется на миниатюрных шариковых подшипниках, иногда сдвоенных, тогда как горизонтальная ось для перемещения тонарма вверх и вниз поворачивается на остриях или лезвиях. Существенно, чтобы сила трения в подшипниках не превышала 1% от прижимной силы звукоснимателя, т. е. находилась в пределах 0,1—0,5 мН.

Для устранения влияния внешних толчков на тонарм вертикальная и горизонтальная поворотные оси должны пересекаться в центре тяжести тонарма. Этим достигается возможность проигрывания пластинки при наклонном положении и отпадает необходимость установки проигрывателя в строго горизонтальной плоскости.

Балансировка тонарма. Тонарм должен быть сбалансирован в нескольких направлениях. Для установления требуемой прижимной силы тонарм должен быть сбалансирован, как показывает рис. 23, *а*, относительно горизонтальной оси XX', позволяющей ему двигаться вверх и вниз. Для этого предварительно звукосниматель уравновешивают с помощью противовеса, находящегося на хвостовике тонарма. Условие равновесия выражается равенством моментов, действующих по обе стороны оси XX':

$$W_1 y_1 = W_2 y_2, \qquad (17)$$

где W_1 — вес части тонарма с противовесом, сосредоточенный в их общем центре тяжести; W_2 — вес части тонарма с головкой, сосредоточенный в их общем центре тяжести; y_1 и y_2 — соответствующие расстояния от центров тяжести каждой части тонарма до оси XX'.

Заданная прижимная сила получается последующим незначительным разбалансом, для чего противовес W_1 сдвигают к оси XX' на величину Δy.

Прижимная сила звукоснимателя G определяется из соотношения моментов сил

$$Gy = W_2 y_2 - W_1 (y_1 - \Delta y).$$

Учитывая выражение (17), имеем:

$$G = W_1 \frac{\Delta y}{y}. \qquad (18)$$

Ввиду того что при проигрывании пластинки игла звукоснимателя должна быть расположена симметрично относительно обеих стенок немодулированной канавки, необходимо, чтобы тонарм был сбалансирован и в поперечном направлении, т. е. без перекоса относительно продольной оси YY'. Поскольку в изогнутом тонарме центр тяжести оказывается смещенным с оси YY' на расстояние x_2, то создается момент, стремящийся повернуть тонарм вокруг оси YY' (по часовой стрелке, если смотреть в торец головки звукоснимателя), а следовательно, нарушить симметричное положение иглы в канавке. В таких тонармах предусматривают противодействующий компенсирующий момент с помощью груза W_3, располагаемого по другую сторону оси YY' на расстоянии x_3 от нее. При этом должно соблюдаться равенство

$$W_2 x_2 = W_3 x_3.$$

Очевидно, что добавление груза W_3 вносит некоторый дополнительный разбаланс тонарма относительно оси XX', и поэтому окончательно установку прижимной силы G следует еще раз уточнить после поперечной балансировки тонарма.

Практически грузу W_3 придают две функции — установление поперечного баланса и установление требуемой прижимной силы звукоснимателя. В соответствии в этим в конструкциях, содержащих груз W_3, балансировку тонарма начинают с того, что перемещают груз W_3 по градуированной шкале, параллельной оси YY', в нулевое положение. Затем противовесом W_1 приводят тонарм в равновесие относительно оси XX', после чего передвижением груза W_3 на соответствующее деление шкалы устанавливают требуемую прижимную силу звукоснимателя и, подбирая расстояние x_3, достигают поперечного баланса.

В дешевых простых конструкциях поперечный баланс обычно отсутствует и тонарм изогнут так, что прямая, соединяющая иглу с центром вращения 0, не перпендикулярна оси XX', как это видно из рис. 23, *б*. Прижимная сила в таких звукоснимателях регулируется противовесом и дополнительно пружиной, назначение которой, кроме того, поддерживать стабильность прижимной силы в динамическом режиме. Один из вариантов использования пружины показан на рис. 24 (ЭПУ32С).

Кроме поперечного и горизонтального балансов в тонармах для высококачественного воспроизведения предусматривают компенсацию так называемой «скатывающей силы». Скатывающая сила F_c возни-

кает в процессе проигрывания и является, как это видно из рис. 25, одной из компонент силы тяги $F_к$, которая направлена по касательной к канавке. Другая компонента $F_т$, направленная по оси тонарма $O'A$, уравновешивается жесткой связью тонарма. Скатывающая сила $F_с$, направленная к центру пластинки O, повышает давление на внутреннюю стенку канавки и ослабляет его в той же мере на внешнюю стенку. В результате нарушается баланс воспроизводимых сигналов правого и левого каналов стереозаписи, появляются искажения звука и усиливается износ внутренней стенки канавки и соответствующей стороны воспроизводящей иглы.

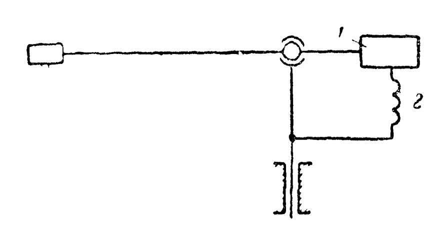


Рис. 24. Тонарм распространенного звукоснимателя.

1 — противовес; 2 — пружина.

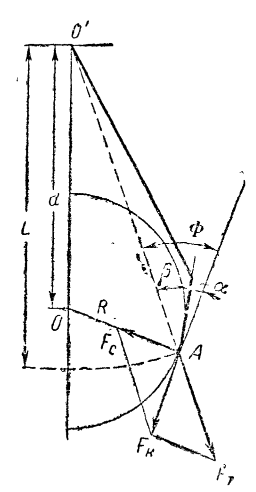


Рис. 25. Силы, возникающие при следовании звукоснимателя по пластинке

Из рис. 25 следует, что скатывающая сила $F_с = F_к \operatorname{tg} \Phi$, а так как $F_к$ по величине равна силе трения μG, то

$$F_с = \mu G \operatorname{tg} \Phi, \qquad (19)$$

где μ — коэффициент трения между иглой и пластинкой; G — прижимная сила звукоснимателя; Φ — угол между осью тонарма $O'A$, соединяющей центр его вращения с концом иглы, и касательной к проигрываемой канавке, проходящей через иглу.

Коэффициент трения μ не является постоянной величиной. Он определяется, в основном, материалами трущихся поверхностей и для корундовой иглы с винилитовой пластинкой составляет 0,3. На величину коэффициента трения оказывают небольшое влияние скорость движения иглы относительно канавки и уровень записи, но практически это влияние невелико и в расчетах можно принимать μ постоянным.

Скатывающая сила $F_с$ создает момент вращения тонарма относительно точки O', который стремится повернуть тонарм к центру пластинки. Как видно из рис. 25, этот момент

$$M = F_с L \cos \Phi$$

или, учитывая выражение (19),

$$M = \mu G L \sin \Phi,$$

Угол Ф можно легко определить, предварительно найдя $\sin \Phi$ из треугольника $OO'A$:

$$\sin \Phi = \frac{L^2 - d^2 + R^2}{2RL}. \tag{20}$$

Как видно из выражения (20), угол Ф зависит от длины тонарма L, так называемой установочной базы звукоснимателя на плате проигрывателя d и от радиуса R проигрываемой канавки. Поскольку по мере проигрывания пластинки R меняется, то соответственно изменяются угол Ф, а следовательно, и вращающий момент M.

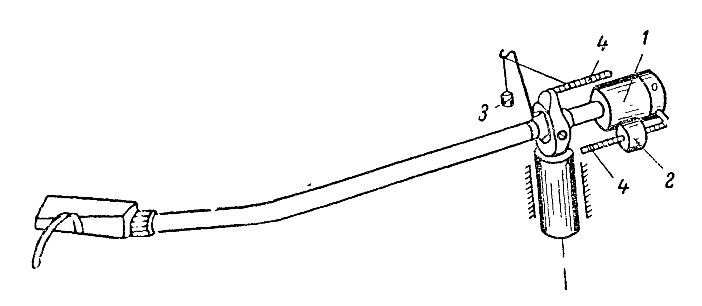


Рис. 26. Вариант конструктивного выполнения балансировок тонарма.

1 — противовес; 2 — балансир; 3 — компенсатор скатывающей силы; 4 — шкалы.

Компенсация этого момента выполняется посредством добавления равного по величине и противонаправленного момента к тонарму. Во избежание конструктивных усложнений в устройствах для компенсации скатывающей силы обычно применяют постоянный момент, поэтому полная компенсация этой силы происходит фактически только на одном определенном радиусе проигрывания R.

Оценим величину скатывающей силы из выражения (19), принимая в первом приближении угол Ф равным углу коррекции β, который обычно выбирается в пределах 20—27°. Считая коэффициент трения $\mu = 0{,}3$ получаем, что скатывающая сила равна 10—15% от прижимной силы звукоснимателя G.

В устройствах для компенсации скатывающей силы обычно применяют либо пружину, либо груз, подвешенный на нити, связанной с опорой тонарма. Заметим, что противоскатывающее устройство действует эффективно, когда трение в подшипниках тонарма на порядок ниже величины скатывающей силы, т. е. не более 1% от прижимной силы звукоснимателя.

Конструктивное выполнение всех рассмотренных балансировок тонарма иллюстрирует рис. 26.

Горизонтальный угол погрешности. Как известно, резец рекордера перемещается по радиусу записываемого диска, а игла звукоснимателя при проигрывании пластинки перемещается по дуге. В связи с этим между направлением колебаний иглы и радиусом, вдоль которого колеблется резец, образуется некоторый угол α, называемый

горизонтальным углом погрешности. Как видно из рис. 25, в случае прямого тонарма этот угол был бы равен углу Ф. Такое несоответствие в направлениях колебаний резца и иглы вносит изменения в воспроизводимый сигнал — возникают так называемые угловые искажения. Соответствующим выбором формы и длины тонарма правильной его установкой на плате проигрывателя угловые искажения можно свести к минимуму. Во-первых, вместо прямого тонарма применяют тонарм, в котором тот конец, где находится головка звукоснимателя, изогнут на угол коррекции β, что уменьшает горизонтальный угол погрешности до величины

$$\alpha = \Phi - \beta. \tag{21}$$

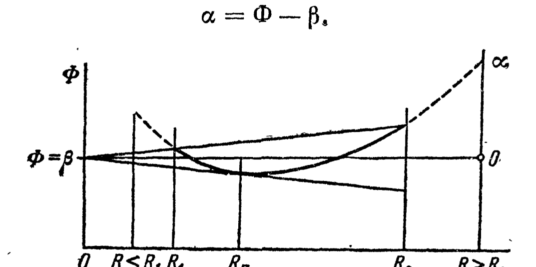


Рис. 27. Зависимость горизонтального угла погрешности от радиуса канавки при оптимальных условиях проигрывания.

Во-вторых, устанавливают тонарм на плате так, чтобы игла заходила за шпиндель диска, т. е. выбирают $d < L$.

Угловые искажения выражаются в появлении второй гармоники воспроизводимого сигнала. Процентные содержания второй гармоники относительно первой составляют:

для амплитудных звукоснимателей

$$k_{2A} = \frac{8{,}35v}{u} \frac{\alpha}{R}, \%; \tag{22}$$

для скоростных звукоснимателей [1]

$$k_{2v} = \frac{16{,}7v}{u} \frac{\alpha}{R}, \%, \tag{23}$$

где v — амплитуда колебательной скорости сигнала, см/с; u — частота вращения пластинки, об/мин; α — угол погрешности в градусах; R — радиус проигрываемой канавки, см.

Формулы (22) и (23) показывают, что угловые искажения пропорциональны отношению α/R, поэтому следует найти условия, при которых α/R будет наименьшим по всей зоне записи. Анализ показывает, что это происходит, когда в зоне записи угол α дважды принимает нулевое значение. Ход изменения угла α по мере проигрывания пластинки показан на рис. 27. Здесь R_1 и R_2 — минимальный

[1] Без учета действия требуемой частотной коррекции в усилителе воспроизведения, которая уменьшает величину k_{2v} до значения k_{2A}.

и максимальный радиусы канавки в пределах зоны записи. Изображенная на рисунке кривая вписывается в некоторый минимальный угол, опираясь концами, соответствующими радиусам R_2 и R_1, на одну его сторону, а наинизшей точкой, соответствующей промежуточному радиусу $R_п$, на другую его сторону; при этом биссектриса угла указывает угол коррекции β головки звукоснимателя.

Промежуточный радиус $R_п$ рассчитывается следующим образом:

$$R_п = \sqrt{\left(\frac{R_1 + R_2}{2}\right)^2 + 3R_1 R_2} - \frac{R_1 + R_2}{2}. \qquad (24)$$

Это значение используется для определения оптимальных конструктивных размеров тонарма при заданных R_2, R_1 и d. Длина тонарма

$$L = \sqrt{d^2 + R_п^2}. \qquad (25)$$

Угол коррекции головки звукоснимателя β находится из выражения

$$\sin\beta = \frac{R_1 R_п}{2L\,(R_1 + R_п)} \left[\left(\frac{R_п}{R_1}\right)^2 + 3\right]. \qquad (26)$$

При расчете тонарма следует иметь в виду начальный R_2 и конечный R_1 радиусы зон записи проигрываемых пластинок. Длину тонарма L целесообразно выбрать равной 230 мм, если предусмотрено высококачественное воспроизведение классического репертуара, обычно записываемого на пластинках диаметром 300 мм. Такая длина тонарма является общепринятой.

Если звукосниматель предусматривается, в основном, для проигрывания пластинок диаметром 175 мм, то радиусы R_2 и R_1 берутся соответственно этому формату пластинки. Пластинки диаметром 300 мм будут проигрываться с несколько повышенными искажениями вне зоны записи, которую имеет пластинка диаметром 175 мм.

В качестве примера ниже дается расчет двух тонармов, отличающихся по длине.

Пример первый. Расчет тонарма для проигрывателей повышенного качества. Задаемся длиной тонарма $L = 230$ мм, радиусами канавки $R_2 = 144$ и $R_1 = 60$ мм, имея в виду пластинку диаметром 300 мм.

Исходя из оптимальных условий проигрывания такой пластинки, производим расчет в следующей последовательности.

Промежуточный радиус $R_п = 89$ мм [по формуле (24)], что дает установочную базу $d = 212$ мм [по формуле (25)] и $\beta = 23°55'$ [по формуле (26)]. Далее, подставляя в выражение (20) значения L, d и вместо R последовательно R_2, R_1 и $R_п$, находим соответственно $\Phi_2 = 25°40'$, $\Phi_1 = 24°40'$ и $\Phi_п = 22°46'$. Из выражения (21) $\alpha_2 = 1°45'$, $\alpha_1 = 45'$ и $\alpha_п = -1°09'$, что дает:

$$\frac{\alpha_1}{R_1} = \frac{\alpha_2}{R_2} = -\frac{\alpha_п}{R_п} = 0{,}12.$$

Пропорционально этому отношению коэффициенты второй гармоники согласно формулам (22) и (23) даже при больших уровнях записи ($v = 10$ см/с) не превысят 0,3 и 0,6% соответственно для амплитудного и скоростного звукоснимателей.

Из рис. 27 следует, что при проигрывании пластинки диаметром 175 мм искажения будут увеличиваться на радиусах канавки, меньших 60 мм (пунктирная кривая), и, как показывает расчет, достигнут 1% на конечном радиусе $R=53$ мм.

Пример второй. Расчет тонарма для проигрывателей среднего качества. Длина тонарма выбирается, исходя из относительно малых габаритов таких проигрывателей, при этом оптимальные условия проигрывания предусматриваются для стандартной пластинки диаметром 175 мм. Принимая $L=185$ мм и учитывая, что для указанного формата пластинки $R_2=84$ и $R_1=53$ мм, получим промежуточный радиус $R_п=66$ мм; установочная база $d=173$ мм; угол коррекции головки звукоснимателя $\beta=21°10'$; горизонтальный угол погрешности на радиусах канавки R_2, R_1, $R_п$ соответственно равен $\alpha_2=24'$, $\alpha_1=16'$, $\alpha_п=-17'$, что дает $\alpha/R=0{,}05\div0{,}04$; коэффициенты второй гармоники при колебательной скорости $v=10$ см/с составляют всего 0,1% для амплитудного и 0,2% для скоростного звукоснимателей. Как видно из рис. 27, на всех остальных радиусах пластинки диаметром 175 мм искажения будут меньше. Однако при проигрывании пластинки диаметром 300 мм искажения на больших радиусах повысятся согласно пунктирной кривой рис. 27 и, как показывает расчет, на начальном радиусе достигнут 1,3 и 2,5% для амплитудного и скоростного звукоснимателей. Наибольшая скатывающая сила будет возникать на начальном радиусе и, как следует из выражения (19), составит 0,12% от прижимной силы при проигрывании пластинки диаметром 175 мм и 0,16% для пластинки диаметром 300 мм

Рассмотренные искажения, обусловленные горизонтальным углом погрешности α, одинаково относятся как к монофоническим, так и к стереофоническим пластинкам. В случае стереовоспроизведения угол α вызывает, кроме того, искажение стереоэффекта из-за уменьшения переходного затухания до величины

$$D_г = 40 \lg \frac{1}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}, \text{ дБ}. \quad (27)$$

Однако угол α в тонармах бытовых ЭПУ обычно не превышает 2° и переходное затухание, рассчитанное по формуле (27), составит 70 дБ, что значительно превосходит реальное переходное затухание, возникающее по другим причинам, которое в лучшем случае равно 25 дБ.

Вертикальный угол погрешности. В звукоснимателе в связи с неизбежным расположением центра вращения иглодержателя над пластинкой игла при проигрывании стереопластинки, следуя за модуляцией глубины канавки, совершает колебания не по перпендикуляру к плоскости пластинки, а под некоторым углом к нему, называемым вертикальным углом воспроизведения. Чтобы избежать искажений, этот угол должен совпадать с аналогично определяемым вертикальным углом записи. Однако между ними обычно всегда имеется некоторое различие, называемое вертикальным углом погрешности. Для монофонических пластинок этот угол некритичен, но при воспроизведении стереозаписи может явиться причиной нелинейных искажений и ослабления переходного затухания между стереоканалами. Возникающие нелинейные искажения преимущественно

обусловлены второй гармоникой. Коэффициент второй гармоники можно рассчитать по формуле

$$k_2 = \frac{955v}{uR}(\cos\theta_з \operatorname{tg}\theta_в - \sin\theta_з), \% , \quad (28)$$

где v — амплитуда колебательной скорости сигнала, см/с; u — частота вращения пластинки, об/мин; R — радиус проигрываемой канавки, см; $\theta_з$ — вертикальный угол записи; $\theta_в$ — вертикальный угол воспроизведения.

В последние годы предложена международная норма на вертикальные углы записи и воспроизведения в пределах 25±5°. Это дает возможную разницу в углах не более 10°.

Исходя из реально возможных углов $\theta_з = 15°$ и $\theta_в = 25°$, подсчитанный по формуле (28) коэффициент второй гармоники для $u = 33^1/_3$ об/мин, колебательной скорости $v = 10$ см/с и $R = 10$ см составляет $k_2 = 5\%$. Таким образом, при воспроизведении стереозаписи гармонические искажения от вертикального угла погрешности могут оказаться куда больше, чем от горизонтального угла погрешности.

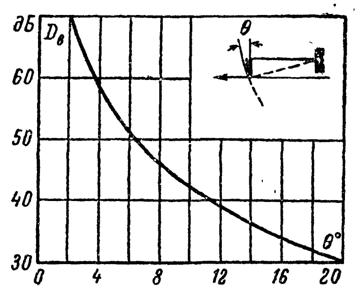


Рис. 28. Зависимость переходного затухания от вертикального угла погрешности при воспроизведении. Стрелка показывает направление движения канавки относительно иглы звукоснимателя.

Влияние вертикального угла погрешности $\theta = \theta_в - \theta_з$ на переходное затухание показано на рис. 28. Для простоты принят вертикальный угол записи $\theta_з = 0$; в этом случае угол погрешности $\theta = \theta_в$ и переходное затухание $D_в$ определяется по формуле (27) при подстановке $\alpha = \theta$.

Угол перекоса. Головка звукоснимателя должна быть установлена на пластинке симметрично относительно обеих стенок канавки, что-

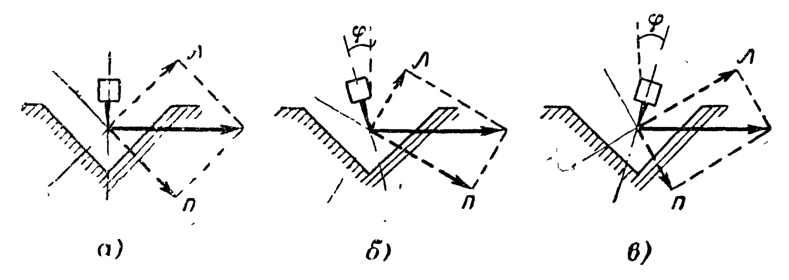


Рис. 29. Влияние установки головки стереозвукоснимателя на отдачу в левом *Л* и правом *П* каналах при воспроизведении поперечной записи.

а — правильная установка; *б* и *в* — установка с перекосом.

бы обеспечить правильную работу левого и правого воспроизводящих каналов.

Воспроизведение поперечной записи стереофоническим звукоснимателем при его симметричной установке показано на рис. 29, *а*. В этом случае отдачи левого и правого каналов звукоснимателя одинаковы и звучание исходит из середины между громкоговорителями обоих каналов, как это и требуется. При установке головки звукоснимателя с перекосом составляющие *Л* и *П* перестают быть одинаковыми, что приводит к перемещению кажущегося звукового изображения из середины в сторону одного из громкоговорителей. Так, например, при перекосе, указанном на рис. 29, *б*, когда игла обращена к борту пластинки, составляющая правого канала больше, чем левого, в связи с чем звук кажется сдвинутым к правому громкоговорителю, а перекос в противоположную сторону (рис. 29, *в*), когда игла обращена к центру пластинки, перемещает звук влево.

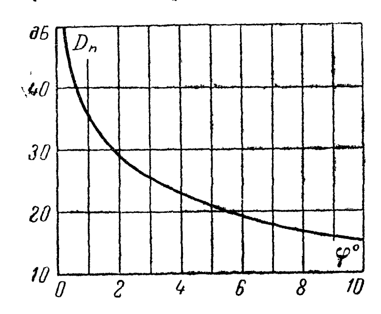


Рис. 30. Зависимость переходного затухания от угла перекоса.

Запись, выполненная только по одному каналу, при правильной установке головки звукоснимателя воспроизводится только по одному каналу, одноименному с каналом записи. В этом случае перекос головки вызывает ошибочное смещение звука к середине звуковой базы.

Описанные искажения стереоэффекта, обусловленные внесенным **углом перекоса** φ, могут рассматриваться как следствие ухудшения переходного затухания. Величина его определяется выражением

$$D_п = 20 \lg \frac{1}{\operatorname{tg} \varphi}, \text{ дБ}. \qquad (29)$$

Соответствующий график дан на рис. 30. Угол перекоса $\varphi = 5^\circ$ снижает переходное затухание между каналами до 21 дБ.

ИСКАЖЕНИЯ В ЗВУКОСНИМАТЕЛЯХ

Резонансные искажения. В предыдущих разделах были рассмотрены различные искажения, которые могут возникать при воспроизведении грамзаписи из-за неправильной установки или подключения звукоснимателя. Существуют, однако, и другие искажения, причины которых заключены в нем самом. Первая из них — резонансные явления.

Звукосниматель представляет собой довольно сложную механическую колебательную систему, состоящую из ряда звеньев, каждое из которых имеет преобладающее влияние в соответствующей области частот. Это влияние характеризуется нежелательными резонансами, портящими воспроизведение. Число резонансных пиков и их величина зависят от конструкции и выполнения звукоснимателя. Однако для любого звукоснимателя характерно наличие низкочастотного, высокочастотного и промежуточного резонансов,

Низкочастотный резонанс обусловлен взаимодействием массы тонарма и гибкости подвижной системы звукоснимателя.

Частота этого резонанса

$$f_{н} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{Mc}}, \qquad (30)$$

где $f_{н}$ — частота, Гц; M — действующая масса тонарма с головкой звукоснимателя; c — гибкость подвижной системы звукоснимателя.

На частоте резонанса $f_{н}$ и вблизи ее звукосниматель имеет повышенную отдачу, что в частотной характеристике проявляется в форме пика. Ниже частоты $f_{н}$ отдача быстро уменьшается. Это происходит от того, что на этих частотах тонарм не представляет собой неподвижную массу относительно иглы, а колеблется вместе с ней; на частоте, где отдача равна нулю, тонарм колеблется как одно целое с иглой, т. е. подвижная система звукоснимателя остается в относительном покое и поэтому не развивает э. д. с.

Повышенная отдача на частоте $f_{н}$ объясняется тем, что здесь игла и тонарм колеблются в противофазе и, следовательно, относительное смещение иглы получается больше заданного модулированной канавкой.

Низкочастотный резонанс искажает воспроизведение, кроме того, при резонансе увеличивается износ пластинки, так как сила, действующая через иглу на канавку, оказывается наибольшей. Эффективной мерой для смещения резонанса к более низким частотам является увеличение гибкости подвижной системы c, что позволяет одновременно уменьшить прижимную силу звукоснимателя G. В современных звукоснимателях высокого качества низкочастотный резонанс находится за слышимым диапазоном, примерно в области ниже 15 Гц.

С повышением частоты тонарм начинает все более вести себя как неподвижная масса и характеристика отдачи приобретает плавный ход до другого резонанса в области высоких частот. Этот резонанс обусловлен действующей массой подвижной системы звукоснимателя и гибкостью материала пластинки

$$f_{в} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{mc_{к}}}, \qquad (31)$$

где $f_{в}$ — частота, Гц; m — действующая масса; $c_{к}$ — гибкость материала пластинки.

Вводя в формулу (31) выражение для гибкости материала пластинки, получим:

$$f_{в} = \frac{0,202}{\sqrt{m}} \left[\frac{GrE^{2}}{(1-\sigma^{2})^{2}} \right]^{1/6}, \qquad (32)$$

где G — прижимная сила звукоснимателя; r — радиус иглы; E — модуль упругости; σ — коэффициент Пуассона.

Формула (32) показывает, что частота высокочастотного резонанса $f_{в}$ зависит в меньшей степени от прижимной силы G и радиуса иглы r, чем от приведенной массы m подвижной системы. Выше частоты $f_{в}$ частотная характеристика отдачи звукоснимателя спадает до нуля. Для звукоснимателей высокого качества этот резонанс приходится на область выше 20 000 Гц.

В дешевых массовых моделях звукоснимателей высокочастотный резонанс сдвигается в сторону более низких частот из-за большей массы m и поэтому частотный диапазон звукоснимателя получается у́же.

Ослабление высокочастотного резонанса производится обычно введением в подвижную систему звукоснимателя демпфера, создающего необходимое трение; кроме того, величину резонансного пика можно регулировать нагрузочным сопротивлением.

Промежуточный резонанс, являющийся резонансом подвижной системы звукоснимателя, в частотной характеристике отдачи не проявляется, но характеризуется тем, что при нем механическое сопротивление звукоснимателя имеет наименьшее значение; игла почти не сопротивляется отклоняющей ее канавке, износ канавки и иглы на этой частоте минимален.

Этот резонанс обусловлен действующей массой m и гибкостью c подвижной системы звукоснимателя

$$f_{\text{п}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{mc}}. \tag{33}$$

Частота $f_{\text{п}}$ в современных звукоснимателях приходится на область 1 500—2 500 Гц.

В формулах (30)—(33) дано: $f_{\text{н}}$, $f_{\text{в}}$, $f_{\text{п}}$ — Гц; M, m — кг; c, $c_{\text{к}}$ — м/Н; G — Н; r — м: E — Н/м^2.

Эффективной мерой для расширения частотного диапазона, воспроизводимого звукоснимателем, является увеличение гибкости c для понижения частоты $f_{\text{н}}$ и уменьшение действующей массы подвижной системы m для повышения частоты $f_{\text{в}}$.

На резонансных частотах $f_{\text{н}}$ и $f_{\text{в}}$ механическое сопротивление звукоснимателя максимально, поэтому в областях, близких к резонансу, возникает повышенный износ пластинки и иглы. Чтобы избежать его, целесообразно не только расположить резонансы вне рабочего диапазона частот, но по возможности предотвратить или ослабить их.

Для ослабления низкочастотного резонанса применяют металлические, обычно дюралюминиевые, тонармы в виде трубки или с U-образным сечением, что придает тонарму достаточно большую жесткость. Тонармы из пластмассы в современных ЭПУ не применяются.

Помимо указанных трех основных резонансов звукоснимателя возможны дополнительные резонансы, обусловленные отдельными деталями и качеством их закрепления. Однако в хороших моделях эти дополнительные резонансы практически отсутствуют и частотная характеристика отдачи имеет плавный ход во всем рабочем диапазоне.

Из формулы (30) следует, что для звукоснимателя с гибкостью подвижной системы $c = 10 \cdot 10^{-3}$ м/Н, позволяющей работать при прижимной силе 0,015 Н, нижний резонанс может быть смещен в область ниже 20 Гц, например, при действующей массе $M = 20$ г, $f_{\text{н}} = 11$ Гц.

Следует заметить, что сдвиг частоты резонанса ниже 20 Гц вызывает подчеркивание НЧ помех от движущего механизма ЭПУ; поэтому целесообразно вводить амортизирующую развязку в крепление поворотной ножки звукоснимателя к плате проигрывателя, а также электрическую коррекцию в схему усилителя для завала частот ниже 20 Гц (пунктирная кривая на рис. 6).

Формула (32) дает для звукоснимателя с параметрами $G = 0,015$ Н, $m = 1$ мг и $r = 18$ мкм и винилитовой пластинки, имеющей

$E = 3 \cdot 10^9$ Н/м² и $\sigma = 0{,}35$, высокочастотный резонанс на частоте $f_в = 24\,400$ Гц.

Для рассматриваемого звукоснимателя резонанс подвижной системы согласно формуле (33) приходится на частоту $f_п = 1\,590$ Гц.

На рис. 31 приведены частотные характеристики двух стереозвукоснимателей — пьезокерамического типа ГЗКУ631, применяемого в бытовых ЭПУ. и магнитного типа V 15-II Супер, предназначенного

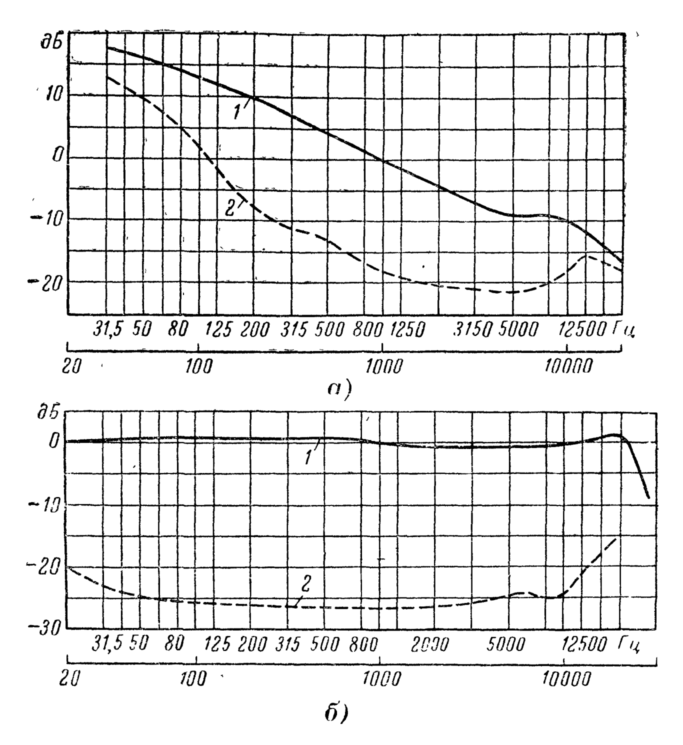


Рис. 31. Частотные характеристики звукоснимателей.

а — керамического, тип ГЗКУ631; *б* — магнитного, тип V15-II фирмы «Шур».

для бытовых аппаратов высшего класса. Кривая *1* представляет собой характеристику отдачи рабочего канала, а кривая *2* показывает проникание сигнала из рабочего в нерабочий канал. Таким образом, на каждой частоте отрезок ординаты между обеими кривыми равен переходному затуханию. Выходные напряжения согласно принятым нормам измерены на нагрузочном резисторе сопротивлением 1 МОм для каждого канала пьезокерамического звукоснимателя и 47 кОм для магнитного звукоснимателя. Чувствительность звукоснимателей на частоте 1 000 Гц соответственно равна 65 и 0,9 мВ/см/с. Как видно из характеристик, магнитный звукосниматель V 15-II выгодно отли-

чается от пьезокерамического по переходному затуханию. Кроме того, преимуществом магнитного звукоснимателя является малое механическое сопротивление подвижной системы, позволяющее проигрывать пластинки при прижимной силе, не превышающей 0,015 Н, что примерно в 4 раза меньше требуемой для пьезокерамического звукоснимателя. Рассогласование каналов по частотной характеристике составляет менее 1 дБ для магнитного звукоснимателя, а для пьезокерамического доходит до 2 дБ на краях рабочего диапазона частот. Звукосниматель V15-II оснащен эллиптической алмазной иглой

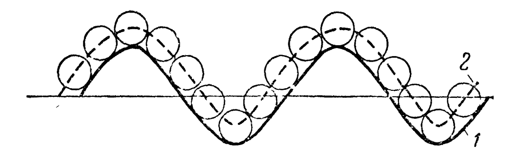


Рис. 32. Искажения от несоответствия форм резца и иглы: центр сферы (иглы) вместо синусоиды *1* воспроизводит поиду *2*.

с рабочими радиусами 5×18 мкм, в керамическом звукоснимателе игла корундовая со сферическим острием радиусом 18 мкм.

Искажения при воспроизведении от различия в форме резца и иглы. При воспроизведении грамзаписи возникает еще один вид искажений, который обусловлен различием форм резца и иглы. Это так называемые искажения огибания. Они существуют при воспроизведении и монофонической и стереофонической записи.

Наиболее наглядно эти искажения можно показать на примере глубинной записи, которая, как известно, является одной из составляющих стереозаписи. На рис. 32 сплошной линией дан профиль дна канавки, представляющий собой след резца при записи синусоидального сигнала, а пунктирной линией — траектория центра воспроизводящей иглы. Как видно, эта траектория не является точной копией записанной синусоиды, особенно заметно отличаясь от нее на пиках модуляции. Эти искажения воспроизведения выражаются в появлении четных и нечетных гармоник, отсутствующих в записи.

При воспроизведении глубинной записи коэффициент второй гармоники на выходе корректированного канала воспроизведения

$$k_2 = \frac{\pi r v f}{V^2} 100, \%. \quad (34)$$

Коэффициент третьей гармоники

$$k_3 = \frac{3}{2}\left(\frac{\pi r v f}{V^2}\right)^2 100, \%. \quad (35)$$

При воспроизведении поперечной записи, где обе стенки канавки воздействуют на иглу в противофазе, четные гармоники не возникают, а появляются только нечетные гармоники, при этом коэффициент третьей гармоники

$$k_{3п} = \frac{3}{4}\left(\frac{\pi r v f}{V^2}\right)^2 100, \%. \quad (36)$$

В приведенных формулах V — линейная скорость канавки; v — амплитуда колебательной скорости записи; f — частота записанного сигнала; r — радиус иглы.

Искажения от гармоник более высокого порядка не приводятся ввиду их относительной малости.

В стереозаписи 45/45, поскольку правый и левый каналы равноценны и модуляция в каждом из них перпендикулярна стенке канавки, искажения при воспроизведении аналогичны рассмотренным для глубинной записи, т. е. содержат четные и нечетные гармоники.

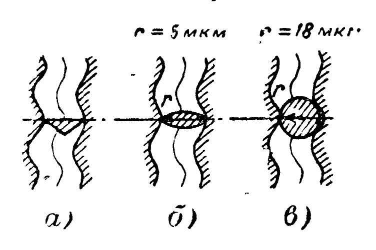


Рис. 33. Влияние формы иглы на огибание канавки.

Для уменьшения искажений огибания в последние годы в звукоснимателях стали применять эллиптическую иглу, т. е. иглу, имеющую в рабочем сечении не круг, а эллипс, как это показано на рис. 33, *б*. Преимущество такой иглы перед обычной иглой круглого сечения, показанной на рис. 33, *в*, в том, что она по форме сечения ближе к резцу, изображенному на рис. 33, *а*, так как ее рабочий радиус r мал. Этот радиус, примерно, в 3 раза меньше чем у сферической иглы и составляет всего 5—8 мкм. В то же время эллиптическая игла благодаря большому радиусу закругления ее острия, равному 18—20 мкм, не касается дна канавки и, таким образом, не воспроизводит помех от шероховатостей дна.

Применение тонкой эллиптической иглы стало возможным при появлении звукоснимателей, работающих с малой прижимной силой — не более 0,015 Н; эллиптическая игла по сравнению со сферической имеет меньшую площадь контакта со стенкой канавки, следовательно, оказывает на нее большее давление. При повышенной прижимной силе это давление может оказаться критическим, т. е. вызвать необратимую деформацию материала пластинки, ускорить износ пластинки и иглы. Заметим, что уменьшать радиус сферической иглы до рабочего радиуса эллиптической иглы нельзя. Такая сферическая игла окажет не только чрезмерное давление на канавку, но и внесет искажения в воспроизведение, так как перестанет вестись стенками канавки, а будет опираться на ее дно, радиус закругления которого, определяемый резцом, допускается до 8 мкм; кроме того, игла будет «собирать шумы» со дна канавки.

Сферические иглы изготовляют из корунда или алмаза, эллиптические — только из алмаза. Срок службы алмазных игл ориентировочно 500 ч, а корундовых игл примерно в 4—5 раз меньше.

Помимо уменьшения радиуса иглы для борьбы с искажениями огибания существуют способы, при которых эти искажения компенсируются искажениями, преднамеренно вносимыми в запись.

Рядом фирм применяются электронные устройства — имитаторы искажений, включаемые в канал записи и автоматически управляемые записываемым сигналом. Имитаторы вносят в запись такие искажения, которые компенсируют искажения, возникающие при воспроизведении записи иглой заданного радиуса. Впервые электронный способ записи с предыскажениями был введен в 1963 г. под названием «Дайнегрув» для стереопластинок американской фирмой RCA «Виктор».

Одним из условий неискаженного воспроизведения является соблюдение определенного соотношения между минимальной шириной канавки и радиусом закругления острия иглы. Минимальная ширина канавки выбирается с некоторым запасом, так чтобы игла опиралась на стенки канавки в точках, расположенных достаточно глубоко, и тем самым была бы исключена возможность выхода иглы из канавки. Глубина погружения иглы в канавку, считая от поверхности пластинки до точки контакта иглы со стенкой канавки при угле раскрытия канавки 90°, равна:

$$h = \frac{a}{2} - \frac{r}{\sqrt{2}},$$

где a — ширина канавки; r — радиус закругления острия иглы.

Для современных стереозвукоснимателей, имеющих большую гибкость подвижной системы во всех направлениях, глубина погружения $h \approx 5$ мкм для иглы оказывается достаточной; это позволяет при игле радиусом $r = 18$ мкм допускать минимальную ширину канавки $a = 35$ мкм.

КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЕ ВОСПРОИЗВОДЯЩЕЙ АППАРАТУРЫ

Воспроизводящая аппаратура выпускается различных классов, отличающихся нормами на технические показатели, конструктивным оформлением и, как следствие этого, стоимостью. Для проверки и наладки воспроизводящей аппаратуры используются многие общепринятые методы, приспособленные к специфике воспроизведения грамзаписи, а также специально разработанные методы. Первые из них, как, например, методы испытания усилительных устройств, здесь не рассматриваются.

Средняя частота вращения диска. Распространенным способом измерения является стробоскопический способ, при котором на диск ЭПУ, поверх грампластинки, накладывается легкий (например, бумажный) стробоскопический диск с радиальными полосами. Этот диск при вращении освещается неоновой лампой, питаемой обычно от осветительной сети 50 Гц. Частота сети питания заложена в основу расчета стробоскопического диска.

На стробоскопическом диске, кроме основного кольца с полосами, соответствующего номинальной частоте вращения диска, обычно имеются дополнительные кольца, расположенные по обе стороны от основного и рассчитанные на предельно допустимые частоты вращения по классам ЭПУ. Кажущаяся неподвижность полос одного из колец указывает на то, что средняя частота вращения диска равна расчетной частоте этого кольца:

$$u = 60\frac{2f}{k} = \frac{6\,000}{k}, \qquad (37)$$

где u — частота вращения, об/мин; f — частота тока питания неоновой лампы (50 Гц); k — число полос кольца.

При отсутствии «неподвижного» кольца средняя частота вращения диска будет находиться между расчетными частотами двух со-

седних колец, «вращающихся» в противоположных направлениях. При этом средняя частота диска ЭПУ будет больше, чем определяемая кольцом, «вращающимся» по часовой стрелке, и меньше, чем для кольца, «вращающегося» в противоположном направлении. При отсутствии «неподвижного» кольца средняя частота диска ЭПУ рассчитывается по формуле

$$u_{\text{ср}} = u\left(1 \pm \frac{\Delta k}{uk}\right), \tag{38}$$

где u — расчетная частота вращения стробоскопического кольца, определяемая формулой (37); k — число полос в кольце; Δk — число «скользящих» полос в минуту, отсчитываемое относительно неподвижного ориентира с помощью секундомера. Знак плюс в формуле (38) берется при скольжении полос по часовой стрелке, знак минус — при скольжении против часовой стрелки.

Точность измерения средней частоты вращения без отсчитывания «скользящих» полос не превышает 0,3% для 33 1/3 об/мин и 0,4% для 45 об/мин, что обусловлено минимально возможной разницей в одну полосу между соседними кольцами.

Изготовление стробоскопического диска в основном сводится к точной разметке промежутков между полосами. Обычно диск рассчитывают для осветительной сети с частотой 50 Гц. Задаваясь требуемым номинальным значением u, определяют количество полос, которое должно быть нанесено на диск:

$$k = 60\frac{2f}{u} = 60\frac{2 \cdot 50}{u} = \frac{6\,000}{u}.$$

Полученное значение k затем округляют до ближайшего целого числа, вследствие чего данный стробоскопический диск будет удовлетворять номинальному значению u лишь с известной степенью приближения.

Для каждой из принятых номинальных частот вращения (78, 45, 33 1/3, 16 2/3 об/мин) на диске наносят несколько колец с полосами, рассчитанными для допустимого отклонения средней скорости от номинала.

Учитывая, что стробоскопический эффект сохраняется при кратном изменении числа оборотов, для частоты 16 2/3 об/мин может быть использован тот же стробоскопический диск, что и для 33 1/3 об/мин. При изготовлении стробоскопического диска черные полосы рекомендуется делать у́же, чем светлые промежутки. Такой диск более удобен, так как при проверке частоты вращения, вдвое меньшей расчетной, в центре светлых промежутков отчетливо видно кажущееся более слабое изображение черных полос. Кроме того, благодаря этому признаку исключается возможность ошибочно приписать частоте вращения удвоенное значение, как это может произойти в случае диска с равными черными полосами и светлыми промежутками.

В табл. 6 приведены данные стробоскопического диска для определения частоты вращения в пределах, допускаемых стандартом.

Измерение средней частоты можно также производить тахометром, не оказывающим заметной нагрузки на движущий механизм, тахометр насаживается на вращающийся шпиндель диска проигрывателя.

Таблица 6

Номинальная частота вращения, об/мин, при сети питания 50 Гц					
33 1/3		45,11		77,92	
Число полос стробоскопа	Частота вращения по стробоскопу, об/мин	Число полос стробоскопа	Частота вращения по стробоскопу, об/мин	Число полос стробоскопа	Частота вращения по стробоскопу, об/мин
184	32,61	136	44,12	79	75,95
183	32,79	135	44,44	78	76,92
180	33 1/3	133	45,11	77	77,92
178	33,71	132	45,45	76	78,95
177	33,90	131	45,80	75	80,00

Наибольшую точность измерения можно получить с помощью декатронного счетчика электрических импульсов. При этом способе используется измерительная пластинка с записью эталонной частоты. Пластинка проигрывается на испытуемом ЭПУ, и выходное напряжение звукоснимателя подается на декатронный счетчик. Искомая средняя частота вращения

$$u = u_н \frac{N}{tf_э}, \quad (39)$$

где $u_н$ — номинальная частота вращения проверяемого ЭПУ, об/мин; N — число электрических импульсов по счетчику; t — фиксированное время отсчета, с; $f_э$ — эталонная частота сигнала, записанного на измерительной пластинке при частоте вращения $u_н$.

Целесообразно задаться такими значениями t и $f_э$, при которых декатронный счетчик показывает среднюю частоту непосредственно в оборотах в минуту. Так, например, выбрав при $u_н = 33\ 1/3$ об/мин, $t = 6$ с, $f_э = 555{,}5$ Гц, получим $u = N/99{,}99 \approx 0{,}01N$, что при использовании счетчика с четырьмя декатронами позволяет получить четыре значащих цифры для средней частоты вращения.

Пользуясь той же измерительной пластинкой с $f_э = 555{,}5$ Гц, можно определить любую из стандартных частот вращения ЭПУ с точностью до 0,01 об/мин. Например, при проверке ЭПУ с частотой вращения 45 об/мин, частота воспроизводимого сигнала повысится соответственно отношению частот вращения, т. е. будет около 750 Гц, а средняя частота вращения, по-прежнему равная

Таблица 7

Соответствующая средняя частота вращения, об/мин	Длительность 100 оборотов, с
77,92	77
45,80	131
45,11	133
44,12	136
33,90	177
33 1/3	180
32,79	183

0,01 N, также определится соответствующим четырехзначным числом N по декатронному счетчику.

В заключение упомянем простейший способ измерения средней частоты вращения диска, который доступен любому потребителю. Согласно прилагаемой табл. 7 следует отсчитать 100 оборотов диска и зафиксировать по часам с секундной стрелкой затраченное на это время. В таблице средние частоты вращения указаны в пределах, допустимых для ЭПУ второго класса.

Неравномерность вращения диска. Показателем неравномерности вращения является коэффициент детонации

$$k_д = \psi \frac{\Delta f}{f} 100, \%, \tag{40}$$

где f — среднее значение частоты воспроизводимого сигнала; Δf — максимальное отклонение от значения f; ψ — коэффициент взвешивания, соответствующий оценочной кривой (рис. 34), имитирующей восприятие детонации на слух.

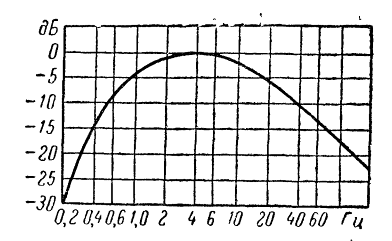


Рис. 34. Частотная характеристика восприятия слухом детонации.

Для измерения детонации применяется сигнал частотой $f = 3\,150$ Гц, воспроизводимый с измерительной пластинки на проверяемом аппарате. Измерительная пластинка должна быть отцентрована, чтобы ее собственный коэффициент детонации был по крайней мере в 3 раза меньше измеряемой величины и, таким образом, не влиял на результаты измерения. Выходное напряжение звукоснимателя подается на детонометр, и измеряется общий коэффициент детонации, а при необходимости и частные коэффициенты детонации, для выявления дефектной детали движущего механизма ЭПУ. Неравномерность вращения самого диска вызывает появление детонации с наиболее низкой частотой, причиной детонации с наиболее высокой частотой является двигатель, а промежуточные частоты детонации обусловлены прочими вращающимися деталями движущего механизма.

Измерение детонации сочетают со слуховой оценкой. Для этого прослушивают сигнал 3 150 Гц с той же измерительной пластинки, а также музыкальные пластинки с записями рояля, содержащими длительные аккорды в среднем регистре. «Плавание» и «вибрация» звука на хороших аппаратах не прослушиваются. В домашних условиях потребителю доступна только слуховая оценка детонации по музыкальным записям.

Помехи от вибраций движущего механизма. Мерой помех от вибраций служит выраженное в децибелах отношение напряжений низкочастотного шума при проигрывании немых канавок измерительной пластинки и воспроизводимого сигнала сравнения. Согласно ГОСТ и рекомендации МЭК сигнал сравнения должен иметь частоту 315 Гц, амплитуду колебательной скорости 5,5 см/с для монозаписи, 3,9 см/с для левого и правого каналов стереозаписи. Допускается использовать сигналы других частот, но, как и в случае частоты 315 Гц,

уровень сигнала сравнения следует выбирать, исходя из стандартной характеристики записи (рис. 6), для которой амплитуда колебательной скорости при частоте 1 000 Гц равна 10 см/с.

При использовании сигнала сравнения 315 Гц применяется измерительный прибор с двумя оценочными частотными характеристиками *acd* и *bcd* (рис. 35). Измерение по характеристике *acd* выявляет все помехи от движущего механизма, включая и те низкочастотные помехи, которые находятся за пределами слышимости. Вибрации, создающие эти помехи, раскачивая иглу звукоснимателя, могут вызвать интермодуляционные искажения, которые для слуха иногда более неприятны, чем слышимые помехи с частотой вибрации. Последние для согласования со свойствами слуха измеряют по характеристике *bcd*. Измерительный прибор приключают непосредственно или через усилитель к звукоснимателю испытуемого проигрывателя. Частотная характеристика воспроизведения должна соответствовать номинальной характеристике канала воспроизведения (см. рис. 6).

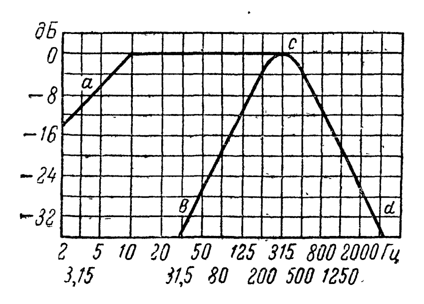


Рис. 35. Частотная характеристика измерителя помех от вибраций приводного механизма.

Некоторые организации пользуются сигналом сравнения 100 Гц с амплитудой колебательной скорости 1,4 см/с, производя измерения по кривой *acd* для выявления всех НЧ помех, которые могут влиять на качество воспроизведения. При указанной колебательной скорости относительный уровень вибраций для бытового проигрывателя оценивается примерно в пределах от —30 до —40. дБ. Эти значения будут лучше примерно на 4 дБ, если амплитуду колебательной скорости при 100 Гц согласно рекомендациям МЭК взять по стандартной характеристике записи относительно нулевого уровня 10 см/с при 1 000 Гц, т. е. равной 2,2 см/с.

Для проверки проигрывателей на вибрации в домашних условиях можно воспользоваться измерительной пластинкой ИЗМ33Д0101/0102, выпущенной в помощь любителям грамзаписи. Для этого следует воспроизвести сигнал частотой 125 Гц и проиграть немую канавку, измеряя в каждом случае электрические напряжения прибором, подключенным к выходу проигрывателя. Для устранения влияния собственных шумов пластинки желательно «завалить» в усилителе частоты выше 350 Гц.

Относительный уровень помех от вибраций определяется по формуле

$$D = -\left(20 \lg \frac{U_c}{U_п} + 10\right), \text{ дБ}, \qquad (41)$$

где U_c — напряжение, измеренное при воспроизведении с пластинки сигнала частотой 125 Гц, записанного с колебательной скоростью 0,83 см/с; $U_п$ — напряжение, измеренное при проигрывании немой канавки. В формулу (41) введена поправка 10 дБ, благодаря которой сигнал сравнения 125 Гц приводится к амплитуде колебательной скорости 2,64 см/с, что согласуется с рекомендациями МЭК.

Механические показатели звукоснимателя. Проверку звукоснимателей следует начинать с механических показателей. *Прижимную силу* проверяют специальным динамометром. В домашних условиях можно воспользоваться аптекарскими весами. При измерениях звукоснимателя, установленного в ЭПУ, точка опоры иглы должна находиться на уровне пластинки, лежащей на диске ЭПУ. Прижимная сила должна быть отрегулирована согласно данным, указанным в паспорте звукоснимателя.

После этого переходят к измерению *гибкости подвижной системы*. С измерительной пластинки воспроизводят сигнал низкой частоты, например 100 Гц, записанный с максимально допустимой для поперечной записи амплитудой $A_{макс}=40$ мкм, прослушивают его через громкоговоритель и просматривают на экране осциллографа. Уменьшают прижимную силу до тех пор, пока не начинают прослушиваться искажения звука и не просматривается разрыв в форме сигнала, что указывает на недопустимое прерывание контакта игла — канавка. После этого измеряют найденную минимальную величину прижимной силы $G_{мин}$.

Поперечная гибкость c подвижной системы звукоснимателя находится из выражения

$$c=\frac{A_{макс}}{G_{мин}}, \qquad (42)$$

где c — гибкость, м/Н; $A_{макс}$ — амплитуда, м; $G_{мин}$ — прижимная сила, Н.

В условиях эксплуатации звукоснимателя для его надежной работы прижимную силу рекомендуется брать по крайней мере в 2 раза больше минимальной, т. е. $G\geqslant 2G_{мин}$.

В случае стереозвукоснимателя, кроме поперечной гибкости, дополнительно измеряют вертикальную гибкость при воспроизведении сигнала 100 Гц, записанного с максимальной глубинной амплитудой 20 мкм.

В лабораторных условиях может быть использован резонансный метод определения гибкости подвижной системы звукоснимателя, при котором раскачка иглы производится с помощью электромагнитного датчика, питаемого от звукового генератора. Головку звукоснимателя закрепляют, а острие иглы упирают на торец приводимого в колебание датчика. Затем изменяют частоту генератора и наблюдают выходной сигнал звукоснимателя, поданный на электронный вольтметр и осциллограф, и фиксируют частоту резонанса $f_р$, обусловленную эффективной колеблющейся массой датчика $M_э$ и гибкостью подвижной системы звукоснимателя c. По известным $f_р$ и $M_э$ находят гибкость:

$$c=\frac{1}{4\pi^2 f_р^2 M_э}, \qquad (43)$$

где c — м/Н; $M_э$ — кг; $f_р$ — Гц.

Более подробное испытание стереозвукоснимателя на надежность следования иглы по канавке согласно рекомендациям МЭК следует проводить в динамическом режиме. При этом используется измерительная пластинка диаметром 17,5 см, проигрываемая при 33 1/3 об/мин и содержащая запись скользящего тона, плавно изменяющегося в пределах 80—8 000—80 Гц в течение 90 с. На одной сто-

роне пластинки упомянутая запись выполнена по левому каналу, на другой — по правому каналу. Уровни записи скользящего тона соответствуют наиболее часто встречающимся в музыкальных программах. Показателем надежного следования является отсутствие искажений воспроизводимых сигналов. Контроль ведется на слух — через громкоговоритель и по осциллографу.

Электрические показатели звукоснимателя. Для определения *чувствительности* звукоснимателя измеряют выходное напряжение U на нормированной для звукоснимателя нагрузке при воспроизведении с измерительной пластинки сигнала 1 000 Гц, записанного с колебательной скоростью v. Чувствительность определяется выражением

$$S = \frac{U}{v}, \text{ мВ/см/с}. \qquad (44)$$

При этом следует указать, в каких значениях взяты напряжение U и колебательная скорость v — в амплитудных или эффективных значениях.

При испытании пьезоэлектрических звукоснимателей специального нагрузочного резистора не требуется, если применяется электронный вольтметр с входным сопротивлением 1 МОм. При этом емкость соединительного экранированного кабеля не должна превышать 150 пФ.

Для стереозвукоснимателя чувствительность проверяют для каждого канала, используя пластинку с записью частоты 1 000 Гц отдельно по правому и левому каналам.

Возможно для этой цели использовать и пластинку только с поперечной записью. В этом случае чувствительность каждого канала $S = U/v/\sqrt{2}$, где U — напряжение на выходе проверяемого канала; v — колебательная скорость поперечной записи.

Измерение *частотной характеристики отдачи* звукоснимателя производится с помощью измерительной пластинки с записью скользящего тона или сигналов фиксированных частот. Скользящий тон дает более полное представление о характеристике, так как ее можно получить в виде непрерывной записи отдачи на ленте самописца во всем рабочем диапазоне частот. Характеристику на фиксированных частотах измеряют при отсутствии самописца, в частности в домашних условиях. Для этой цели может быть рекомендована измерительная пластинка с поперечной записью ИЗМ33Д0101/0102.

Характеристику рассчитывают в децибелах, принимая за 0 дБ отдачу при 1 000 Гц:

$$D = 20 \lg \frac{U_f}{U_{1\,000}} + D_п,$$

где U_f — напряжение сигнала на частоте f; $U_{1\,000}$ — напряжение сигнала на частоте 1 000 Гц; $D_п$ — поправка для сигнала частоты f, записанного с колебательной скоростью, отличающейся от скорости на частоте 1 000 Гц, дБ.

Поправка $D_п$ указывается в инструкции к пользованию измерительной пластинкой.

Нелинейные искажения звукоснимателя на практике чаще всего характеризуют коэффициентом гармоник. При определении этого показателя с измерительной пластинки воспроизводят сигналы фиксированных частот в диапазоне до 6 кГц, записанные со средним и максимальным уровнями. Выходное напряжение подают на измерительный

прибор фильтрового типа, не требующий острой настройки по частоте; последнее условие является непременным, поскольку частота сигнала, воспроизводимого с пластинки, из-за некоторой неизбежной неравномерности ее вращения непостоянна. Для стереозвукоснимателя нелинейные искажения проверяют в обоих каналах.

Простейшим способом проверки на нелинейность является просмотр на осциллографе сигналов, воспроизводимых с измерительной пластинки; отклонение от синусоидальной формы может быть обнаружено, если коэффициент гармоник достигает 5%.

О качестве экранировки звукоснимателя и правильности расположения монтажа соединительных проводов ЭПУ можно судить по относительному уровню фона, наводимого на звукосниматель. Измерение производят следующим образом. Воспроизводят сигнал частотой 1 000 Гц, записанный поперечно с амплитудой колебательной скорости 10 см/с, и измеряют при этом выходное напряжение звукоснимателя $U_{1\,000}$; затем звукосниматель перемещают над пластинкой при включенном двигателе, соблюдая зазор между иглой и пластинкой около 3 мм, и отмечают наибольшее значение выходного напряжения фона $U_ф$. Для стереозвукоснимателя эти измерения производят отдельно для правого и левого каналов.

Относительный уровень фона определяют по формуле

$$D_ф = 20 \lg \frac{U_ф}{U_{1\,000}}, \text{ дБ}.$$

Для этих измерений может быть использована измерительная пластинка ИЗМ33Д0101/0102, рекомендованная для снятия частотных характеристик.

В зависимости от класса ЭПУ приемлемой нормой можно считать уровень фона от —65 до —55 дБ.

Для стереофонических звукоснимателей и ЭПУ, кроме вышеуказанных показателей, измеряют дополнительные параметры, характеризующие качество стереовоспроизведения.

Проникание в звукоснимателе может быть измерено с помощью пластинки с записью скользящего тона, сделанной поочередно по левому и правому каналам. Сначала самописцем записывают частотную характеристику отдачи одного канала, например левого, затем на том же бланке под снятой характеристикой отдачи записывают проникающий сигнал в том же канале при воспроизведении скользящего тона, записанного на пластинке по правому каналу. Разность ординат в децибелах, взятая со знаком минус, дает относительный уровень проникания во всем диапазоне частот; так же проверяется и правый канал. Эти измерения, как видно, одновременно дают и частотную характеристику отдачи.

Переходное затухание измеряется аналогично, но вместо сигнала, проникающего в тот же канал, самописцем записывают сигнал, проникающий в другой канал.

Возможно производить оценку указанных показателей, пользуясь вольтметром и пластинкой с записью фиксированных частот, выполненной отдельно по левому и правому каналам.

Правильность сторон устанавливается с помощью испытательной пластинки [1], при проигрывании которой прослушиваются музыкаль-

[1] Испытательные пластинки выпускает для населения фирма «Мелодия».

ные отрывки с пояснительным текстом, выполненные поочередно по правому и левому каналам. При несоответствии сторон следует поменять между собой выходы каналов.

Баланс каналов проверяют при прослушивании с испытательной пластинки одного и того же музыкального отрывка, записанного поочередно по правому и левому каналам. При этом соответствующими регуляторами в усилителях выравнивают звучание обоих каналов по громкости и тембру. Затем прослушивают отрывок, записанный по обоим каналам одновременно. Если звучание не кажется исходящим из середины между обоими громкоговорителями, то этого добиваются регулятором баланса. При проверке слушатель должен находиться перед громкоговорителями на равном от них расстоянии.

Проверку *фазирования каналов* производят прослушиванием тона низкой частоты, например 100 Гц, записанного поперечным способом. Предварительно оба канала должны быть сбалансированы. Громкоговорители правого и левого каналов сдвигают в середину, располагая их прямо перед слушателем. Если выключение одного из громкоговорителей уменьшает общую громкость, то фазировка произведена правильно. В противном случае надо поменять местами провода, подсоединенные к одному из громкоговорителей.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГРАМЗАПИСИ

В 1970 г. появился новый вид пластинок: видеогрампластинки (видеопластинки) и четырехканальной стереофонической или, как ее называют, *квадрафонической* пластинки.

Появлению видеопластинки с записью движущегося изображения предшествовали опыты по записи неподвижного изображения на диск. Так, например, в 1968 г. был описан способ «Фоновид» для записи и воспроизведения неподвижных изображений с синхронным звуковым сопровождением на пластинке диаметром 30 см при частоте вращения 33 1/3 об/мин. На такой пластинке умещалось до 400 неподвижных изображений и предназначалась она для учебных целей.

Первая демонстрация лабораторных образцов видеопластинки и видеопроигрывателя состоялась в конце июня 1970 г. в Западном Берлине. Видеопластинка создана в результате многолетнего труда двух фирм «АЕГ-Телефункен» (ФРГ) и «Тельдек» (ФРГ, Англия). Серийное производство видеопластинок и видеопроигрывателей предполагается осуществить в 1973 г.

Первая демонстрация квадрафонической пластинки состоялась также в 1970 г. Этой новой проблемой — четырехканальной грамзаписью занимаются в Японии, США и ряде других стран. В Москве, в начале 1972 г., квадрафоническая пластинка была продемонстрирована японской фирмой «Виктор». В этом же году фирма «Тельдек» демонстрировала в Москве видеопластинку с записью цветного изображения.

Разработки в области видеопластинки и квадрафонической пластинки продолжаются.

Видеопластинка. Запись изображения и сопровождающего звука произведена в одной и той же канавке; звук записывается путем модуляции строчных импульсов. Появление видеопластинки оказалось возможным, во-первых, благодаря значительному увеличению плотности записи на диск, во-вторых, благодаря найденному механическому способу воспроизведения видеозаписи.

В телевидении для получения четкого изображения требуется пе-

редача нескольких миллионов колебаний в секунду. С видеопластинки оказалось возможным воспроизвести колебания в диапазоне до 3 МГц, что соответствует 250 строкам изображения на экране телевизионной трубки и обеспечивает достаточную четкость.

Ввиду того что рекордер не может записать сигналы такой высокой частоты, прибегают к транспонированию, т. е. уменьшают скорость оригинала записи, например кинофильма, с которого производится перезапись на видеопластинку, в определенное число раз с учетом наивысшей граничной частоты рекордера. При воспроизведении видеопластинка проигрывается с соответственно увеличенной частотой вращения для восстановления спектра частот оригинала.

Видеопластинка содержит глубинную запись частотно-модулированного сигнала. Благодаря применению ЧМ запись происходит с постоянной амплитудой, т. е. все гребни канавки находятся на одной высоте, а впадины на одной глубине, но расстояния между гребнями то увеличиваются, то уменьшаются. Постоянство амплитуды позволяет расположить канавки вплотную друг к другу; шаг записи составляет 7 мкм, что соответствует плотности записи 140 канавок/мм. Шероховатость отпрессованной канавки видеопластинки на два порядка ниже амплитуды записи, выбираемой в пределах 0,5—1 мкм. Этим обеспечивается отношение сигнал/шум около 40 дБ, что вполне достаточно.

В течение одного оборота диска записываются два полукадра телевизионного изображения. Воспроизведение записи производится при частоте вращения 1 500 об/мин. Таким образом, каждый кадр воспроизводится за 0,04 с, что соответствует частоте 25 кадров/с.

Для видеопластинки выбран диаметр 210 мм при отношении начального и конечного диаметров канавок зоны записи 2 : 1. При таких размерах видеопластинка содержит запись программы длительностью около 5 мин.

Технологический процесс получения видеопластинки (снятие металлических оригиналов и прессование) аналогичен принятому для гибких грампластинок.

Канавка видеопластинки имеет постоянную ширину около 7 мкм и угол раскрытия 150°. Пластинка изготовляется из поливинилхлоридной пленки толщиной примерно 0,1 мм.

Для видеопластинки разработан принципиально новый способ воспроизведения, поскольку использование прибора, аналогичного общепринятому звукоснимателю с подвижной системой, здесь невозможно. Действительно, из-за очень высокой частоты воспроизводимого сигнала и конечной величины массы иглы инерциальные силы получаются чрезмерными и движение воспроизводящего элемента оказывается невозможным.

В разработанном видеоснимателе игла, связанная с керамическим пьезоэлементом, остается неподвижной при воспроизведении и лишь воспринимает импульсы перепада давления, задаваемого каждым очередным гребнем канавки. Это переменное давление преобразуется видеоснимателем в соответствующее переменное электрическое напряжение частотой до 3 МГц.

На рис. 36, *а* схематически показано устройство видеоснимателя, а на рис. 36, *б* — участок контакта иглы с канавкой.

В видеоснимателе алмазная игла имеет форму санного полоза, опирающегося закругленным краем на несколько гребней канавки одновременно; опорное ребро иглы имеет радиус закругления около 1 мкм и передает постоянное давление на канавку от видеоснимателя,

равное примерно 0,002 Н. В таком режиме канавка испытывает только упругую деформацию. Закругленным краем игла обращена навстречу движению канавки, что обеспечивает ей плавное скольжение.

Гребень при выскальзывании из-под острого края иглы мгновенно восстанавливает свою форму. Эта разгрузка давления передается

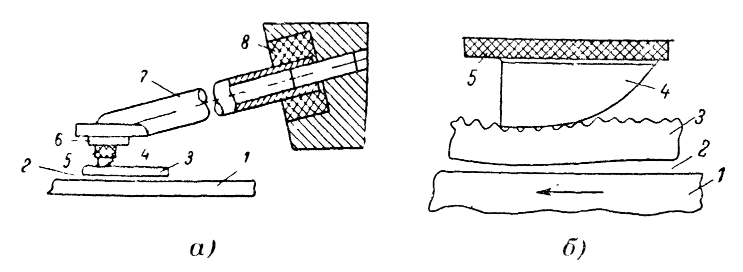


Рис. 36. Устройство видеоснимателя — приемника давления.

1 — неподвижная плата видеопроигрывателя; *2* — воздушная подушка; *3* — видеопластинка; *4* — игла; *5* — керамический пьезоэлемент; *6* — упругая прокладка; *7* — трубчатый держатель; *8* — демпфер.

иглой жестко связанному с ней керамическому пьезоэлементу, который преобразовывает полученный импульс давления в соответствующий электрический сигнал. Размеры пьезоэлемента не более 0,2 мм, поэтому в рабочем диапазоне частот не возникает механических ре-

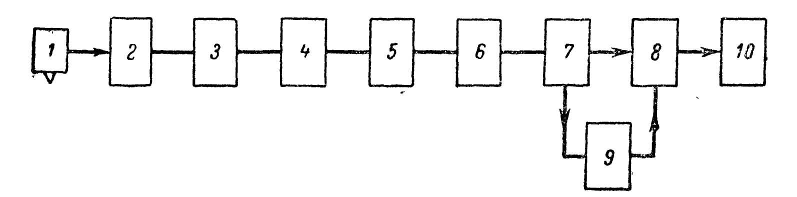


Рис. 37. Структурная схема канала воспроизведения записи с видеопластинки.

1 — видеосниматель; *2* — предварительный усилитель; *3* — корректор; *4* — ограничитель, *5* — ЧМ демодулятор; *6* — фильтр НЧ; *7* — видеоусилитель; *8* — УКВ модулятор; *9* — демодулятор звука; *10* — телевизор.

зонансов. Дальнейшая обработка сигнала производится в электрическом канале, структурная схема которого показана на рис. 37.

Видеопроигрыватель не имеет обычного вращающегося диска, гибкая видеопластинка вращается центральной шайбой с частотой вращения 1 500 об/мин над неподвижной платой. Образующаяся при этом воздушная подушка между платой и видеопластинкой стабилизирует ее вращение. Перемещение видеоснимателя происходит вдоль радиуса видеопластинки принудительно с помощью канатной тяги с шагом примерно 8 мкм за оборот видеопластинки и коррек-

тируется самой канавкой благодаря эластичной связи звукоснимателя с тягой.

Видеопластинка может содержать запись как черно-белого, так и цветного изображения.

Квадрафоническая пластинка. Стремление к возможно большему сходству воспроизводимого звука с естественным звучанием привело к появлению квадрафонии. В этой новой стереофонической системе как запись, так и воспроизведение ведутся не по двум, а по четырем каналам. Первая такая разработка для грампластинок, относящаяся к 1970 г., выполнена японской фирмой «Виктор» под назва-

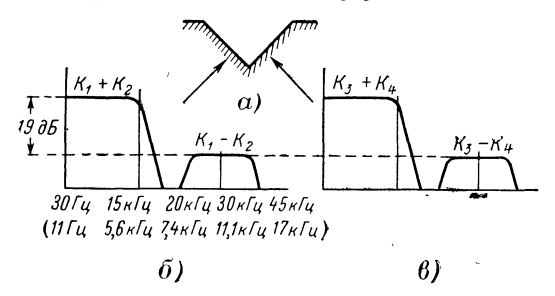


Рис. 38. Квадрафоническая запись по системе СД-4.

а — канавка; *б* — спектры сигналов, записываемых на левой стенке; *в* — то же для правой стенки.

нием системы СД-4, что означает «совместимая дискретная четырехканальная система».

Совместимость означает возможность воспроизводить запись квадрафонической пластинки на обычном стереофоническом ЭПУ. В этом случае во избежание порчи квадрафонической пластинки двухканальный звукосниматель должен быть высшего класса. Получающееся при этом звучание свойственно двухканальной стереофонии. Совместимость означает, кроме того, возможность воспроизведения на квадрафоническом ЭПУ записей обычных двухканальных стереопластинок и монофонических пластинок.

Квадрафонические СД-4 пластинки выпускаются диаметром 30 см на частоту вращения 33 1/3 об/мин; длительность звучания стороны 20 мин. Предусматриваются также пластинки диаметром 17,5 см на 45 об/мин.

В квадрафонической системе СД-4 сигналы четырех каналов записываются в одной канавке обычным двухканальным стереорекордером, используемым для записи по способу 45/45. В отличие от двухканальной стереофонии в системе СД-4 каждая стенка канавки несет информацию не одного (левого или правого) канала, а двух каналов со спектром частот, простирающимся до 45 кГц, как это иллюстрирует рис. 38. В полосе частот 30 Гц — 15 кГц, соответствующей диапазону обычных стереопластинок, передается суммарный сигнал обоих каналов, а спектр 20—45 кГц является результатом модуляции несущей частоты 30 кГц разностным сигналом этих же двух каналов. Разностные сигналы ниже 800 Гц и выше 6 кГц модулируют несущую по частоте, а в диапазоне выше 800 Гц до 6 кГц — по фазе. Такой

выбор видов модуляции создает высокое качество звукопередачи. Совместимость квадрафонической пластинки обеспечивается наличием записи суммарных сигналов на каждой из стенок канавки.

Как видно из рис. 38, разностные сигналы записываются с уровнем, на 19 дБ меньшим, чем суммарные сигналы; этим достигается надежное огибание иглой звукоснимателя канавки с записью высокочастотных колебаний.

Для квадрафонической записи на лаковый диск сигналы с четырех выходов магнитофона *1* (рис. 39) предварительно преобразовываются в матричном блоке *2* в суммарные и разностные сигналы. Сум-

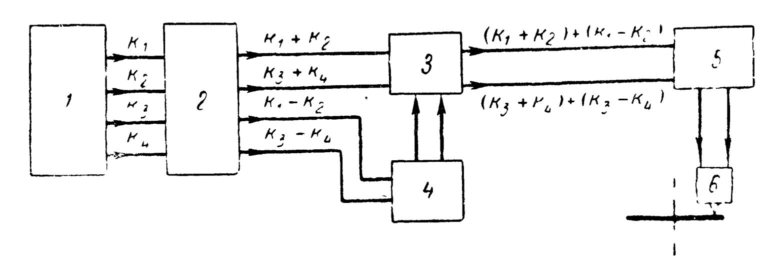


Рис. 39. Структурная схема канала квадрафонической записи по системе СД-4.

марные сигналы K_1+K_2 и K_3+K_4 подаются на смеситель *3* непосредственно, а разностные сигналы K_1-K_2 и K_3-K_4 предварительно поступают в модулятор *4* и модулируют несущую 30 кГц. Смеситель выдает обработанные сигналы по двум каналам, из которых один содержит сигналы первого и второго каналов $(K_1+K_2)+(K_1-K_2)$, а другой — третьего и четвертого каналов $(K_3+K_4)+(K_3-K_4)$. Оба эти сигнала через усилитель записи *5* подаются на стереорекордер *6* и записываются в одной канавке таким образом, чтобы при воспроизведении звукосниматель возбуждался сигналами, спектры которых были показаны на рис. 38,*б* и *в*. Это означает, что звукосниматель должен воспроизводить колебания в диапазоне частот 30 Гц — 45 кГц. Поскольку верхняя рабочая частота рекордера ограничивается примерно 15 кГц, то при записи прибегают к искусственному сдвигу частот всех записываемых сигналов в сторону меньших значений. Для этого уменьшают скорость магнитной фонограммы и частоту вращения планшайбы станка записи в 2,7 раза; наивысшая частота 45 кГц транспонируется в 16,6 кГц, которую рекордер уже способен записать Транспонированный частотный диапазон указан в скобках на рис. 38,*б*.

Схема канала воспроизведения приведена на рис. 40. С квадрафонической пластинки *1* двухканальный стереозвукосниматель *2* воспроизводит сигналы, записанные на левой и правой стенках канавки. В демодуляторе *3* модулированные колебания преобразуются в звуковые сигналы, последние матричной схемой *4* преобразуются в четыре раздельных сигнала. Эти сигналы подаются на четырехканальный усилитель *5* и громкоговорители. Расстановка громкоговорителей относительно слушателя должна соответствовать указанной на рисунке.

Для проигрывания квадрафонической пластинки пригодны проигрыватели, имеющие частоту вращения 33 1/3 об/мин, однако в них необходимо заменить головку звукоснимателя специально разработанной; эта новая магнитная головка характеризуется более широким рабочим диапазоном частот (от 10 Гц до 60 кГц), бо́льшей гибкостью подвижной системы, бо́льшим переходным затуханием между каналами, достигающим 30 дБ на частоте 1 кГц и имеющим наименьшее значение 15 дБ на граничных частотах рабочего диапазона. Малое механическое сопротивление подвижной системы такой головки позволяет проигрывать пластинку при прижимной силе, не превышающей

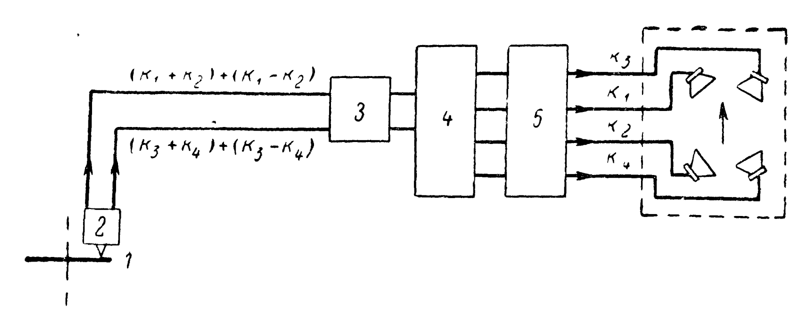


Рис. 40. Структурная схема канала воспроизведения для квадрафонической пластинки СД-4.

0,015 Н. Головка оснащена специально разработанной иглой, известной под названием Сибата. В рабочем поперечном сечении эта игла по форме ближе подходит к резцу, чем эллиптическая. Кроме того, профиль иглы Сибата обеспечивает в 4 раза бо́льшую площадь контакта со стенками канавки благодаря удлинению зоны контакта в глубину канавки. Это приводит к меньшему давлению в месте контакта игла — канавка, а следовательно, к повышению срока службы пластинки и иглы. Игла Сибата хорошо воспроизводит весь диапазон частот 10 Гц — 45 кГц, записанный на пластинках СД-4, и является кроме того, совместимой, т. е. обеспечивает высококачественное воспроизведение двухканальных стереопластинок. Ориентировочный срок службы иглы Сибата 1 000 ч.

В середине 1971 г. американская фирма «Колумбия» разработала систему совместимой так называемой стереоквадрафонической записи на диск.

Пластинка СК (стереоквадрафоническая) в отличие от пластинки СД-4 полностью совместимая, т. е. ее можно проигрывать на обычном стереопроигрывателе, получая высококачественное звучание как при четырехканальном, так и при двухканальном стереовоспроизведении.

В системе СК для производства механической записи на диск сигналы с четырех выходов магнитофона подаются на вход кодирующей матричной цепи, которая путем линейного преобразования комбинирует четыре сигнала в два, подаваемые на обычный двухканальный стереорекордер. Расчет матричной цепи сделан с учетом принципов восприятия слушателем квадрафонического звучания от

четырех громкоговорителей, расположенных в углах помещения прослушивания. Исходя из этих принципов, для получения наибольшего сходства воспроизведенного звука с оригиналом на два передние громкоговорителя в левом и правом углах помещения должна поступать полная информация левого и правого каналов соответственно. Поэтому один из двух выходов кодирующей цепи представляет собой левый канал, другой — правый. Кроме того, по левому каналу записывают сигналы обоих задних каналов, но не полностью, а уменьшенные в соотношении 0,707 : 1. Такая же запись делается и по правому каналу. Стереорекордер вырезает квадрафоническую канавку, две составляющие которой под углом 45° к поверхности диска передают информацию передних левого и правого каналов, чем обеспечивается при воспроизведении совместимость СК-пластинки с обычной двухканальной стереопластинкой. Канавка, кроме того, содержит модуляцию, обусловленную круговым движением резца, вызванным добавлением сигналов левого и правого задних каналов. При этом левый канал рекордера дает винтовую канавку с разверткой по часовой стрелке, правый канал — с разверткой против часовой стрелки. В итоге квадрафоническая канавка при воспроизведении задает игле звукоснимателя сложное спиральное движение, соответствующее векторной сумме составляющих каждой модуляции.

Для квадрафонического воспроизведения четыре независимых сигнала, содержащихся в СК-пластинке, получают с помощью декодера, включаемого между звукоснимателем и усилителем воспроизведения.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цена 22 коп.